Levande stadsrum

- en handbok i Blågröngrå system **Version 3.1**

edge

Uppsala kommun

Utgivare: *edge*
Utgivningsdatum: 2019-12-20
Version: 3.1
Revideringsdatum: 2022-09-05
Text: Kent Fridell, Erik Hallgren, Martin Vysoký, Ida Linnersten, Adam Linde, Martin Brattström ***edge*** och Susanne Sixtensson, Frida Bruhn, Anna Thynell, Thania Ottosson Lameri, Bert Sandell, Arvid Backlund
Illustrationer och layout: Martin Vysoký, Mia Border**,** Martin Brattström, Ida Linnersten, Adam Linde ***edge*** och Susanne Sixtensson, Barbora Lišková
Foto: *edge*, om inget annat anges
Ansvariga för utgivningsversionen: Kent Fridell, Erik Hallgren, Mia Border ***edge och*** Susanne Sixtensson
Referensgrupp för version 1.0 och 2.0: Örjan Stål ***Viös***, Björn Embrén ***Arbor Konsult***, Erik Simonsen ***Cementa,*** Erik Larsson ***Malmö stad***

Handboken är framtagen av Edge i samarbete med Göteborg, Halmstad, Uppsala, Malmö, Lund, Norrköping, Helsingborg, Nacka, Växjö och Karlskrona kommun. Materialet får fritt citeras med angivande av källa. Bildmaterialet får användas med angivande av källa och illustratör.

Förord

I en modern stadsmiljö, där mycket ska få plats på en liten yta, har vi kommit långt från vattnets naturliga kretslopp. Där träd tidigare hade plats att breda ut sina rötter och regnvatten kunde sippra ned genom markytan har decennier av stadsbyggande skapat miljöer som domineras av ogenomsläppliga ytor och täta överbyggnader. I en sådan miljö råder det brist på både växtbäddsvolym och naturlig hantering av nederbörd.

Att bortse från omständigheter som är viktiga för vegetation och dagvattenhantering när man planerar stadsmiljöer kan orsaka en rad kostsamma problem. Höga flöden och översvämningar varvas med torkskador och rötter som förstör konstruktioner då de söker efter bättre förutsättningar. Fortsatt expansion och förtätning av städerna skapar större volymer dagvatten samtidigt som behovet av att ersätta befintliga ledningar ökar. Dessutom tillkommer klimatförändringar, bättre kontroll på bräddning och rening, höjda krav på ekosystemtjänster, återbruk, cirkulära flöden och mobilitet.

För att möta komplexiteten i dagens och framtidens stadsmiljöer behövs smart infrastruktur, med ytor som kan tillgodose flera syften samtidigt. Att anlägga separata lösningar för varje funktion blir alltför kostsamt och utrymmeskrävande. Istället måste dagvattenhantering och växtbäddar samsas med hårdgjorda ytor och de krav på bärighet och trygg miljö som dessa för med sig. På så sätt skapas en grönare och mer attraktiv stadsmiljö med lägre risk för översvämning och minskade konsekvenser vid torka. Man tar ett steg mot en mer hållbar stad som är bättre rustad för framtidens utmaningar.

”Det krävs ett helt nytt sätt att tänka för att lösa de problem som vi skapat med det gamla sättet att tänka”
- Albert Einstein

Tack

Författarna och medarbetarna bakom handboken skulle vilja skicka ett stort tack till Göteborg, Halmstad, Uppsala, Norrköping, Växjö, Lund, Nacka, Helsingborg, Karlskrona kommun och Malmö stad som har bidragit med finansieringen och konstruktiv feedback. Utan er stora support hade inte handboken blivit en realitet.

Vi vill också tacka referensgruppen som bestod av Örjan Stål (VIÖS), Eric Simonsen (Cementa), Erik Larsson (Malmö stad) och Björn Embrén (Arbor Konsult) för version 1.0 och 2.0. Ni har bestått med mycket bra erfarenheter och synpunkter på handbokens innehåll, upplägg och foton.

Ett tack vill vi också ge Stockholm stad för att ha bidragit med foton och delgett oss sin erfarenhet.

Vi vill även rikta ett stort tack till vårt företag edge som har stöttat oss både finansiellt men också med stöd och resurser vilket har varit mycket viktigt för slutresultatet av handboken.

Kent Fridell

Innehåll

1. Handbokens syfte 8
1.1 Läshänvisningar 10

2. Begrepp och definitioner 11

3. Bakgrund 12
3.1 BGG-System 12
3.2 Klimatförändringar 14
3.3 Stadsvatten 18

4. BGG-systemets funktioner 20
4.1 Trafikbelastning 20
4.2 Fördröjning av dagvatten 21
4.3 Växtbädd 22
4.4 Rening av dagvatten 22

5. Plan- och programskede 24
5.1 Förutsättningar och mål 24
5.1.1 Snabbanalys 24
5.1.2 Exempel på utförande av snabbanalys 25
5.2 Koncept och programhandling 26
5.3 Projektvägledning 27
5.4 Lathund 28
5.5 Dagvattenutredning 30
5.5.1 Krav på rening och fördröjning av dagvatten 31
5.6 Geoteknisk undersökning 31
5.7 Ledningskontroll 32
5.8 Projektsamordning och ekonomi 33

6. Detaljprojektering 34
6.1 Inför detaljprojektering 34
6.1.1 Principritningar 34
6.1.2 Ritningar och dokument 35
6.1.3 Höjdsättning 35
6.1.4 Ledningar och konstruktioner 36
6.1.5 Anläggningsprocessen 37
6.2 Öppet förstärkningslager 38
6.2.1 Utbredning 42
6.2.2 Öppet förstärkningslager i AMA 42
6.2.3 Packning av öppet förstärkningslager 43
6.2.4 Avbrott 44
6.2.5 Styrning av vattenflöde 44
6.3 Konstruktioner i marknivå 49
6.3.1 Tät hårdgjord yta (A) 50
6.3.2 Dränerande hårdgjord yta (B) 50
6.3.3 Träd i hårdgjord yta (C) 52
6.3.4 Regnbädd (D) 54
6.3.4.1 Inlopp 55
6.3.5 Täckt regnbädd 56
6.3.6 Vegetationsyta (E) 58
6.3.7 Svackdike (F) 60
6.3.8 Vidsträckt dränerande beläggning (G) 62
6.4 Material 64
6.4.1 Makadam till öppet förstärkningslager 64
6.4.2 Geotextil 67
6.4.3 Växtbädd 67
6.4.3.1 Växtsubstrat 67
6.4.3.2 Biokol och andra substrat-förbättrande material i BGG-system 68
6.5 Avvattningsprinciper 69
6.5.1 Perkolation till undergrund 69
6.5.2 Avvattning till dagvattennät 70
6.5.3 Bevattningszon 70
6.6 Komponenter i BGG-system 70
6.6.1 Styrbrunn 70
6.6.2 Luftdagvattenbrunn 71
6.6.3 Luftbrunn 71
6.6.4 Placering av brunnar 71
6.6.5 Dagvattentunnel 71
6.6.6 Brunnsfilter 71
6.7 Rening av dagvatten 72
6.7.1 Fördröjningszon under växtbädden 75

6.8 Utformning och dimensionering mot torka och värmeböljor 76
6.8.1 Träd och torkresiliens 78
6.8.2 Växtbäddar och torkresiliens 80
6.8.3 Metoder för att uppskatta växtbäddsvolym 81
6.9 Växtmaterial för BGG-system 82
6.9.1 Etablering 83
6.9.2 Tredimensionella klätterväxter 84
6.10 BGG-System på kvartersmark 86

7. Dimensionering 90
7.1 Dimensionerande flöde 90
7.2 Tömningshastighet 91
7.3 Fördröjningsvolym 91
7.3.1 Beräkningsexempel: magasin med öppet förstärkningslager 91
7.3.2 Beräkningsexempel: fördröjningszon i regnbädd 92
7.4 Växtbäddsvolym 92
7.4.1 Beräkningsexempel: växtbäddsvolym 92
7.5 Reningsgrad 92
7.6 Trädens vattenbehov 93

8. Fördjupning 95
8.1 Beräkningar 95
8.1.1 Kostnadsberäkning 95
8.1.2 Kostnad per fördröjd m³ 97
8.1.3 Klimatberäkning 98
8.2 BGG-Pussel 99
8.3 Stadsvatten - fördjupning 100
8.4 Utmaningar 104
8.5 Effekter 106
8.6 Geografisk information 110

9. Framtidens stadsrum 111
9.1 Smarta gator 111
9.2 Gatans användare 112
9.3 Gatans funktioner 112
9.4 Gatufunktionsindex 112
9.5 Designprinciper 113
9.5.1 Design för mångfunktionalitet 114
9.5.2 Design för stadsliv 114
9.5.3 Design för låg hastighet 114
9.5.4 Design för ekosystem 115
9.5.5 Design för flexibilitet 115
9.6 Framtidsgatan 116

10. Livable 'scapes 117
10.1 Klimatoptimerad utformning 118
10.2 Mångfunktionalitet & samverkan 119
10.3 Pålitlig gestaltning & smart mobilitet 120
10.4 Platser som lockar 121

11. Referenser 122

Växtlista 124
Träd, buskar, gräs 124
Perenner, lökar 125

Goda BGG-exempel 126

Bilagor

Bilaga 1. **Utförandebeskrivningar**

Bilaga 2. **Drift- och underhållsmanual**

Bilaga 3. **Grävningsmanual**

1

Handbokens syfte

Blågröngrå (BGG) är ett begrepp som syftar på integrering av funktioner inom dagvattenhantering (det **Blå**), vegetation (det **Gröna**) och hårdgjorda ytor (det **Grå**). Den här handboken är framtagen för att beskriva system för urbana miljöer där blå, gröna och grå funktioner samverkar på samma plats och i samma volym. Sådana system kan hantera trafikbelastning, dagvattenflöden, föroreningar, är resilienta mot klimatförändringar och kan samtidigt ge vegetation generöst med plats under mark. På så sätt får man många funktioner och ekosystemtjänster att samlas på en liten yta och kostnaden blir lägre än om olika behov hanteras med olika lösningar i olika ytor.

Förutsättningarna för att utforma och anlägga BGG-system är olika beroende på vilken typ av gatumiljö som är aktuell. Ytterstadsområden erbjuder till exempel andra förutsättningar för dagvattenhantering, trafik och grönska än vad innerstadsområden gör, likväl som för mindre och större samhällen. Till följd av platsbrist är det ofta störst behov i innerstaden av mångfunktionell infrastruktur.

I befintlig miljö är det mest realistiska scenariot att utgå ifrån gatans funktionskrav, bredd, trafik, ledningar, utformning, design etc. för att finna plats för öppna förstärkningslager och konstruktioner som kan ingå i BGG-system. Det blir således ofta utrymmet som styr hur stora volymer som kan fördröjas, istället för fördröjningsbehovet i sig.

Regnbädd som är estetiskt attraktiv samt filtrerar och fördröjer dagvatten. Strandbogatan, Uppsala
Foto: Rasmus Elleby

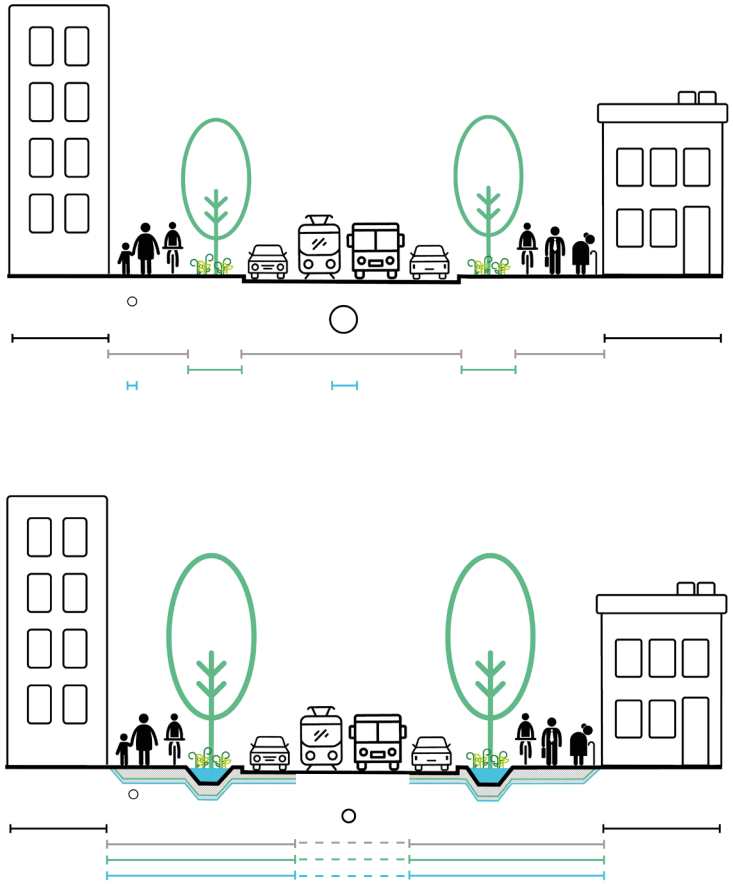
I exploateringsområden finns stora möjlighet att integrera BGG-system i planskedet vilket kan skapa större valfrihet. Handboken riktar sig till dem som planerar, projekterar, anlägger och förvaltar stadsrum med BGG-system, framförallt projektledare och projektörer. Här finns ingående förklaringar och konkreta tillvägagångssätt som man kan ha nytta av genom ett helt BGG-projekt. Det läggs stort fokus på både planering, dimensionering, val av åtgärd och själva projekteringen.

BGG-systemen som beskrivs i handboken är anpassade för stadsrum med trafikbelastningar upp till trafikklass TK2 eller bärighetsklass BK1. I den typen av hårdgjord och urban miljö handlar dagvattenhantering främst om förebyggande arbete, fördröjning och rening. Den fullständiga förvaltningskedjan för dagvatten har dock fler steg, med både förebyggande åtgärder på privat mark och allmän platsmark och samlad fördröjning i större skala innan utsläpp till recipient.

Vid förfrågan finns kompletterande bilagor och handlingar till handboken att tillgå. Handbokens bilagor innehåller praktiska beskrivningar av anläggning, drift och underhåll samt grävning inom BGG-system. Det finns även kostnadsberäkningsverktyg, ”BGG-pussel” för att enkelt redovisa och prova utformning samt princip- och detaljritningar över systemet och dess konstruktioner. Handboken ger därmed kunskap att planera, utforma och sköta system för olika syften och olika platser i staden.

Just nu sker mycket inom området vilket kan komma att påverka utformningen av BGG-system varför handboken och övriga handlingar kommer att uppdateras allt eftersom kunskap och regelverk utvecklas. Se hemsidan https://bluegreengrey.edges.se/ för senaste version.

Figur 1. Överst visas ett stadsrum rum där de blå, gröna och grå funktionerna hanteras med separata konstruktioner. Nedan visas samma stadsrum efter införande av BGG-system som integrerar dagvattenhantering, vegetation och hårdgjorda ytor. Streckad linje indikerar att BGG-system är möjligt att anlägga, men i det här scenariot inte nödvändigt eller prioriterat.



1.1 Läshänvisningar

För den som vill ha en komplett genomgång av Blågröngrå system rekommenderas det att läsa samtliga kapitel i handboken och tillhörande handlingar.

För den som är införstådd med systemet och ska arbeta med projekt i planskeden kan läsning påbörjas i kapitel 5.

För den som är införstådd med systemet och ska börja projektera när en dagvattenutredning och programskede redan är gjord kan läsning påbörjas i kapitel 6.

För dig som är entreprenör och införstådd med systemet kan läsning påbörjas i ***Bilaga 1.***

I version 3.0 av handboken har det förutom en generell översyn och uppdatering till senaste kunskapsnivå i samtliga dokument tillkommit avsnitt om konstadsberäkning, BGG-pussel samt konstruktion F och G. Vi har också lagt till avsnitt om BGG-system på kvartersmark, Smarta gator och dimensionering av BGG-system för att motstå torka och värmeböljor. Avsnittet om rening har utökats.

Version 3.1 av handboken har uppdaterats med ett nytillkommet avsnitt om tredimensionell grönska, goda BGG-exempel samt uppdatering av text om Stadsvatten.

Vi hänvisar till olika skrifter och utgår ifrån att text som finns i dem inte behöver upprepas här. För vidare läsning se källförteckning.

Regnbädd och cykelbana på öppet förstärkningslager. Norrevångsgatan, Vellinge.

2 Begrepp och definitioner

Adsorption innebär att ett ämne löst i en vätska fastnar på ytan av ett fast material.

Avbrott syftar här på avskiljande material som delar upp stråk av öppet förstärkningslager i mindre enheter.

Avjämningslager är ett lager av fin makadam som packas in i öppet förstärkningslager för att avskilja material och skapa en jämn yta. Tex makadam 8/11.

Bergkross är material av krossat berg som är vanligt förekommande vid anläggningsarbete.

BGG-system står för Blågröngrå system. Ett samlingsnamn för alla typer av konstruktioner som samutnyttjar volym för dagvattenhantering, växtbäddar och hårdgjorda ytor.

Biokol är ett poröst, kolbaserat material som blandas in i substrat för att förbättra dess egenskaper som rening, lagring av vatten och näring. Biokol kan näringsberikas vilket ger en näringsdepå i växtsubstratet för både växter och markliv.

Bärighetsklass (BK) beskriver hur tunga fordon en väg får belastas med. Det allmänna vägnätet är indelat i fyra bärighetsklasser, BK1-BK4.

Bräddning är när dagvatten svämmar över från en fylld anläggning till en brunn eller ledning.

Bärlager är en del av en överbyggnad, mellan förstärkningslager och slitlager.

Cykelfartsgata är en gata där motorfordon och cyklister samsas om utrymmet, på cyklistens villkor.

Dagvatten är ytligt avrinnande nederbörd och smältvatten.

Dagvattenbrunn är den komponent som är avsedd att samla upp dagvatten från hårdgjorda ytor.

Dimensionerande regn är det regn som används för att dimensionera anläggningar avseende flöde, rening och fördröjningsvolym enligt Svenskt Vatten P110.

Dränerande överbyggnad är en överbyggnad med hög infiltrations- och perkolationskapacitet.

Ekosystemtjänster är de funktioner hos ekosystem som upprätthåller eller förbättrar människors välmående och livsvillkor.

Enhet syftar här på stråk av öppet förstärkningslager mellan två avbrott.

Extremregn syftar här på regn som är större än dimensionerande regn eller större än VA-systemet kan hantera.

Finmaterial syftar här på mindre partiklar och gränsen varierar beroende på kontexten det används.

Flexzon, eller möbleringszon, kallas det området i gaturummet som växelvis utgörs av t.ex. parkeringsfickor och vegetationsytor.

Fraktioner skrivs utan enhet, men avser ett storleksintervall i mm.

Fördröjningszon är ett litet dagvattenmagasin ovanpå en regnbäddsyta.

Geomembran är en duk som hindrar vatten från att tränga in eller ut ur en konstruktion. Det kan utgöras av olika material såsom gummi eller bentonitlera.

Geotextil är en materialavskiljande duk som förhindrar att små partiklar migrerar.

GIS (geografiskt informationssystem) är datorbaserade system för insamling och behandling av geografisk data.

Hydraulisk konduktivitet är ett mått på genomsläppligheten i ett substrat.

Infiltration är vattnets rörelse genom markytan.

Inlopp syftar här på alla typer av komponenter som leder vatten in i regnbädden.

Komponent syftar här på element eller beståndsdel som ingår i konstruktioner, t.ex. brunnar, geotextil och inlopp.

Kornstorleksfördelning är den procentuella fördelningen av mineralpartiklars storlek i en jord eller bergkross.

Luftbrunn är den komponent som bistår med gasutbyte mellan växtbädd under hårdgjorda ytor och atmosfären.

Makadam är krossat bergmaterial och syftar här på fraktioner mellan 2 och 90 mm. Förekommer i olika fraktionsspann, t.ex. 2/4, 8/16, 16/32, 4/90, 22/90 och 32/90.

Mindre regn syftar på 1-2 årsregn som ofta används vid dimensionering av rening

Perkolation är vattens rörelse i substrat.

Regnbädd är en nedsänkt vegetationsyta med fördröjningszon för omhändertagande av dagvatten.

Rotzon syftar här på den volym där rötter förväntas växa.

Samkross är krossat bergmaterial i fraktioner mellan 0 och 200 mm.

Slitlager är det översta lagret i en överbyggnad, som utsätts för trafik. Ofta ingår sättlager i benämningen slitlager.

Stadsvatten är ett samlingsnamn för vatten som genereras i en stad och som kan återanvändas/nyttjas. T.ex dränerings-, tak- och dagvatten samt vissa typer av gråvatten.

Stenmjöl är krossat bergmaterial i fraktioner från 0 till 8 mm.

Stråk syftar här på långa, sammanhängande partier av öppet förstärkningslager.

Styrbrunn är den komponent som styr och reglerar dagvattenflödet inom BGG-system. Den fungerar även som bräddningsbrunn och bistår med gasutbyte.

Terrass är den yta på vilken överbyggnad för vegetationsytor och hårdgjorda ytor anläggs.

Trafikklass (TK) är ett systematiskt sätt att bedöma trafikens totala belastning på en konstruktion under dess tekniska livslängd. Trafikklass används vid dimensionering av hela överbyggnadskonstruktionen och skiljer sig beroende på kraven för ytan.

Träd i hårdgjord yta syftar här på en konstruktion för trädplantering med hårdgöring ovan växtbädden.

Täcklager är ett ytligt makadamlager för att minska avdunstning, erosion och ogräsuppslag.

Underbyggnad är den del av markanläggning som ligger mellan undergrund och terrass. **Undergrund** är orörd del av marken under terrass och underbyggnad.

Vegetationsyta syftar här på en vegetationsyta anlagd på öppet förstärkningslager där tillrinnande dagvatten ej leds till ytan ovanifrån (vilket det gör i en regnbädd). Istället leds dagvattnet via en brunn till det öppna förstärkningslagret där vegetationen kan tillgodogöra sig vattnet.

Växtbädd syftar här på den volym där rötter förväntas växa. Se rotzon.

Växtjord syftar här på A- och B-jord enligt AMA anläggning 20, eller en befintlig jord.

Växtsubstrat syftar här på framställda bergkross- eller sandbaserade substrat med syfte att uppnå specifika fysikaliska krav, t.ex. genomsläpplighet. I bergkrossen kan det blandas in substratförbättrande material (sfm), t.ex. biokol, kompost eller pimpsten.

Överbyggnad är den del av markanläggningen som påförs terrassen. Avser hela konstruktionen för t.ex. en hårdgjord yta eller växtbädd.

Öppet förstärkningslager är ett förstärkningslager bestående av makadam. Även kallat luftigt eller dränerande förstärkningslager.

3 Bakgrund

3.1 BGG-system

Utvecklingen av våra stadsrum har pågått under lång tid. Sedan bilens intåg i våra städer har behovet av gator och parkeringsplatser ökat kraftigt. Ytor för de mer hållbara transportslagen i form av kollektivtrafik samt gång- och cykelbanor behöver också få plats i stadsrummet. Ovan mark leder detta till en kamp om utrymmet när även god trafiksäkerhet, lågt underhåll och hög bärighet ska tillgodoses. Även under mark är utrymmet en bristvara då ledningar för allt från VA och el till belysning och fiber ska samsas. Med dessa förutsättningar är det lätt att förstå att utrymmet för vegetation och möjligheten till naturlig hantering av nederbörd i staden blir knapp.

När klimatet succesivt förändras med högre temperaturer och fler kraftiga regn som följd ökar vattenflödena avsevärt. Regnen orsakar högre dagvattenflöden som vårt konventionella ledningsnät inte alltid klarar av och risken för översvämningar och otillräcklig rening har ökat. Konsekvenserna blir svåra och kostsamma för både individen, samhället samt djur och växter. Den stora variationen i vattentillgång med längre torrperioder gör det också problematiskt för stadens vegetation. Det kan vara brist på vatten under perioder och när det plötsligt uppstår flöden leds dagvatten bort via ledningssystemen utan att växternas behov uppfylls. Ytterligare ett problem är det låga gasutbytet som kan uppstå i packskadade växtbäddar och under täta överbyggnader. Rötterna utsätts för både syrebrist och höga koldioxidhalter, vilket resulterar i dålig utveckling hos vegetationen. Istället för att bilda ett djupt finförgrenat rotsystem skapar träden ytliga, stora rötter som växer till utrymmen med bättre tillgång på syre, fukt och näring. Detta leder till att rötter förstör markbeläggning och orsakar stopp i avlopps- och dräneringsledningar.

Översvämning av hårdgjorda ytor med konventionell uppbyggnad och dagvattenhantering, Folkets park i centrala Malmö.

Skador på beläggning orsakade av rötter på grund av otillräcklig växtbäddsvolym.

Träd utsatt för torkstress. Brno, Tjeckien.
Foto: NEXT INSTITUTE

Det senaste decenniet har växtbäddsmaterial baserat på bergkross med mycket låg andel finmaterial börjat användas. För att förbättra växtbäddens egenskaper har biokol, pimpsten eller kompost blandats in. Till bakgrund för detta ligger studier av trädrötter som frodats i bergkross utan finmaterial i rörgravar och banvallar samt studier på extremt bördig jord i Amazonas som innehåller en hög andel träkol.

Egenskaper i bergkross med mycket låg andel finmaterial har visat sig väldigt lämpliga då de skapar gynnsamma förhållanden med både stort gasutbyte och hög genomsläpplighet för vatten. Det finns ingen risk för vattenmättnad och strukturen bibehålls trots tuff behandling i den moderna byggprocessen. I sådana förhållanden bildar växterna ett friskt, finförgrenat rotsystem som går på djupet vilket lägger grunden för både vacker och motståndskraftig vegetation och en högre vattenrening. Porositeten i materialen bibehålls även efter packning så att det går att uppnå tillräckligt hög bärighet för att klara trafikbelastning. Genom att utveckla användandet av bergkross, så kallat öppet förstärkningslager, har BGG-system med växtbäddar, överbyggnader för hårdgjorda ytor samt dagvattenmagasin tagits fram för optimalt utnyttjande av stadsrummet.

Nyckeln till ett BGG-system är att bygga upp ett förstärkningslager med hög porositet, god bärighet och integrera detta med ett nytt styrsystem för dagvatten.

BGG-system bidrar till mer hållbar dagvattenhantering genom att:

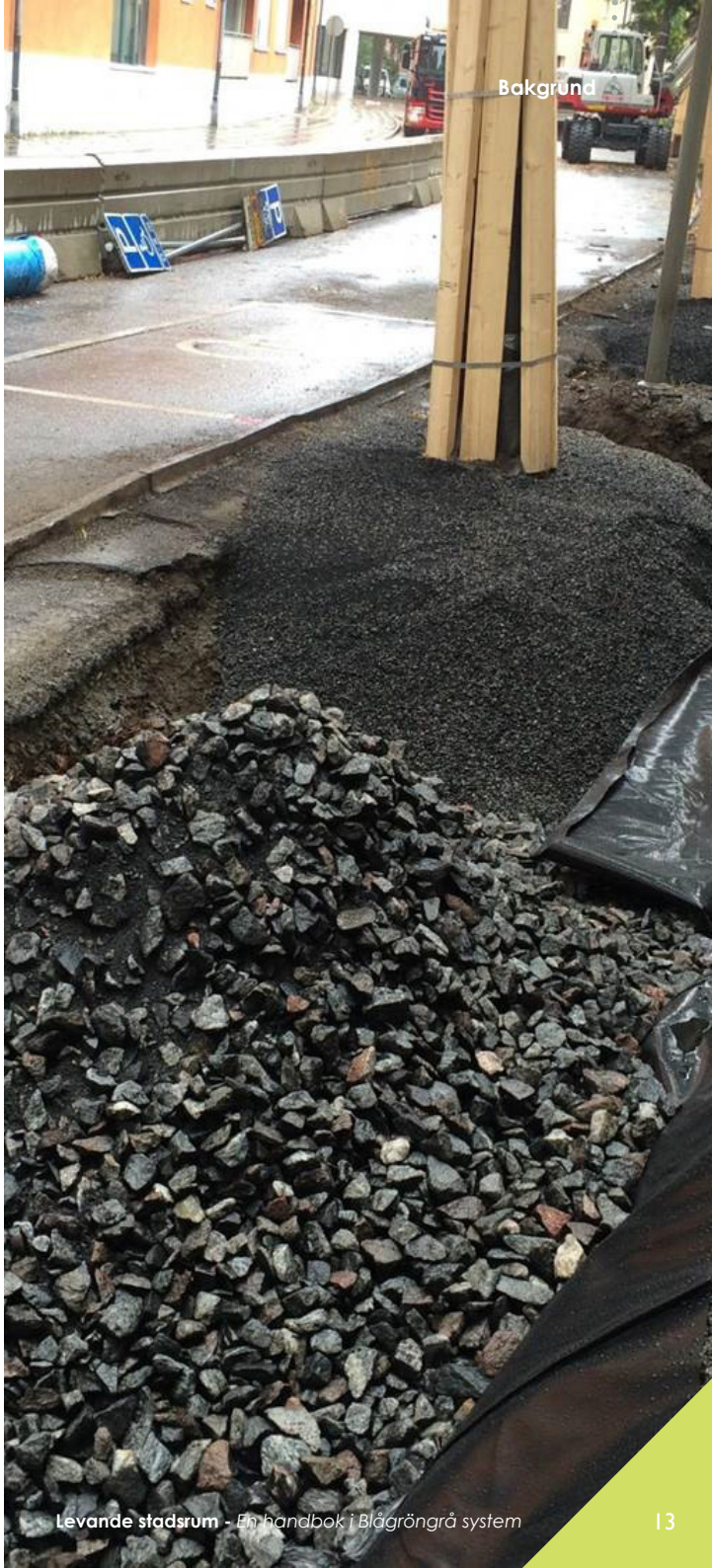
- **Utjämna dagvattenflöden med fördröjning**
- **Minska risken för översvämningar**
- **Avlasta ledningsnätet**
- **Rena dagvattnet**

BGG-system bidrar till bättre förutsättning för vegetationen genom att:

- **Skapa stor växtbäddsvolym**
- **Möjliggöra högt gasutbyte i växtbäddar**
- **Öka tillgången till vatten och näring**
- **Skapa en bra miljö med hög biologisk aktivitet**

Andra fördelar med BGG-system:

- **Skapar estetiska och attraktiva stadsrum**
- **Sänker temperaturen i stadsrum samt skuggar byggnader och därmed minskar energibehovet för att kyla fastigheter**
- **Kan utnyttja tak- dränerings- och gråvatten till bevattning**
- **Kan fylla på grundvattnet**
- **Fungerar som kolsänka**
- **Genererar fler och högre nivåer av ekosystemtjänster.**



Konstruktion med överbyggnad av öppet förstärkningslager med biokol, vilket fungerar som växtbädd och fördröjningsmagasin för dagvatten i hårdgjord yta. Stockholm.

Det öppna förstärkningslagret sammankopplas med olika konstruktioner i marknivå som kan tillfredsställa krav på stadsrummet, till exempel grönska eller parkeringsmöjlighet. Resultatet blir ett system som både kan fördröja och rena dagvatten och gynna vegetation samtidigt som markytan kan belastas och användas på ett flexibelt sätt. BGG-system ändrar bilden av dagvatten från ett problem till en resurs som gör staden mer estetiskt tilltalande och höjer dess ekologiska värden, samt bidrar till flertalet ekosystemtjänster.

Ekosystemtjänster syftar till alla de produkter och tjänster som ekosystem generar till människan och således bidrar till vår livskvalitet och vårt välmående. Välfungerande och hållbara ekosystem är en avgörande faktor för att kunna möta nuvarande och framtida klimatförändringar i form av skyfall, översvämningar och värmeböljor. Ekosystem har förmågan att tillgodose flera ekosystemtjänster samtidigt och de är ofta beroende av varandra för att fungera. Det är därför inte ovanligt att förlusten av ett ekosystem slår mot flera olika ekosystemtjänster, vilket belyser vikten av robusta och motståndskraftiga ekosystem. Den urbana grönblå strukturen är ett exempel på ett mångfunktionellt urbant ekosystem som har positiva effekter på klimatregleringen, den biologiska mångfalden och livskvaliteten.

BGG-system kan utformas på många olika sätt. Gemensamt för systemen på de kommande bilderna är att de alla anlagts på ett öppet förstärkningslager, vilket fungerar som både dagvattenmagasin och växtbädd samt uppfyller krav för anpassad trafikklass. Utformningen har valts utifrån stadsrummets förutsättningar, syftet med ytan och växtbädden samt behovet av rening och fördröjning av dagvatten. För mer information om konstruktionerna se kap. 6. Detaljprojektering.

Bakgrunden till denna handbok bygger på mångåriga fältförsök och forskning inom området VA-hantering och vegetation för att få en mer hållbar dagvattenhantering för främst urban miljö. Starten till att integrera VA och gröna ytor initialiserades i Sverige främst från Peter Stahre under 1990-talet. Under samma tidsperiod började Svenskt Vatten finansiera flera grundläggande försök och forskningsprojekt, exempelvis forskningen om trädrötter och VA-ledningar.

År 2009 släppte Stockholm stad sin första version av ”Handbok för Växtbäddar”. Deras handbok tillsammans med två forskningsstudier (2015 och 2017) i Vinnova-projektet ***Klimatsäkrade Systemlösningar för Urbana ytor*** med tester på öppna förstärkningslager gjorde att utvecklingen av BGG-system tog fart i Sverige. Handboken du nu läser är den senaste produkten av en utveckling och kunskapssammanställning inom detta komplexa ämnesområde.

Dränerande beläggning och vegetationsyta på öppet förstärkningslager. Campusområdet, Vellinge

Vegetationsyta och regnbädd på ett stråk av öppet förstärkningslager. Eksätravägen, Stockholm.

Parkering och regnbädd på ett stråk av öppet förstärkningslager. Ängelholmsgatan, Malmö.

Vegetationsyta på öppet förstärkningslager, Växjö

Regnbädd och GC-bana på ett stråk av öppet förstärkningslager. Campusområdet, Vellinge.

Enskilda regnbäddar på öppet förstärkningslager. Rundelsgatan, Vellinge.

Cykelparkering med dränerande beläggning på öppet förstärkningslager, som utgör magasin för dagvatten och växtbädd. Södervärn, Malmö.

Träd i hårdgjord yta på stråk av öppet förstärkningslager. Liedbergsgatan, Växjö.

3.2 Klimatförändringar

Världen står inför stora utmaningar till följd av klimatförändringarna. Temperaturen förväntas stiga vilket i sin tur påverkar urbana värmeöar och dess inverkan på lokalklimatet. Urbana värmeöar är en konsekvens av hur våra städer är uppbyggda och leder till att temperaturen generellt är högre i städer och tätorter än i de omkringliggande landskapet. Högre temperaturer leder bland annat till högre energibehov för nedkylning, större hälsorisker för befolkningen och försämrade förutsättningar för stadsvegetationen. Höga temperaturer har en negativ effekt på människors hälsa och då framförallt på barn och äldre vuxna. Mellan år 2004 och 2018 rapporterades 10 527 dödsfall i USA där höga temperaturer var antingen en underliggande eller bidragande faktor (US EPA). Som tur är kan stadsträd effektivt bidra till att motverka effekten av urbana värmeöar och sänka temperaturen i staden.

Den kylande effekten från träden beror till stor del på trädens storlek och densiteten av vegetationen. Så mycket som 80% av den kylande effekten kommer från den skugga som träden bidrar med. Temperaturskillnader på 1-8°C är inte ovanligt mellan områden med och utan planterade träd (Killicoat et al. 2002), men i exceptionella fall har temperaturskillnader på uppemot 20°C observerats i Kalifornien, USA (Myrup 4 et al. 1993).

Brist på vatten och gasutbyte är de största orsakerna till att träden i urbana områden far illa och sällan når full kapacitet vilket leder till bristande ekosystemtjänster. I tabell 1 och 2 skildras vilka klimatförändringar som kan komma att ske för två olika scenarier av RCP (strålningsbalans) jämfört med den meterologiska

	1961-1990	RCP 4,5 (2100)	RCP 8,5 (2100)
Årsmedeltemperatur		+3°C	+5°C
Vegetationsperiodens längd ca [dagar]	201	+ 60	+ < 100
Värmeböljors längd [dagar] dygnsmedeltemp. över 20 °C	3	10	25
Låg markfuktighet [dagar]	15	30-35	45-50
Årsmedelnederbörd [mm]	609	20%	30%
Höjning vintertid	-	-	+6°C
Antal dagar < 10 mm regn	13	+5	+8

Tabell 1. Sammanställning på förändring av meteologiska data för Region Stockholm. SMHI.

	1961-1990	RCP 4,5 (2100)	RCP 8,5 (2100)
Årsmedeltemperatur		+3°C	+5°C
Vegetationsperiodens längd ca [dagar]	210	+40	+90
Värmeböljors längd [dagar] dygnsmedeltemp. över 20 °C	2	-	18
Låg markfuktighet [dagar]	5-15	20	50
Årsmedelnederbörd [mm]	800	10%	25%
Höjning vintertid	-	-	+5°C
Antal dagar < 10 mm regn	-	-	-

Tabell 2. Sammanställning på förändring av meteologiska data för Region Västra Götaland. SMHI.

RCP4.5	RCP8.5
• Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring år 2040 • Befolkningsmängd något under 9 miljarder i slutet av seklet • Lågt arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster • Omfattande skogsplanteringsprogram • Låg energiintensitet • Kraftfull klimatpolitik	• Koldioxidutsläppen är tre gånger dagens vid 2100 och metanutsläppen ökar kraftigt • Jordens befolkning ökar till 12 miljarder vilket leder till ökade anspråk på betes- och odlingsmark för jordbruksproduktion • Teknikutveckling mot ökad energieffektivitet fortsätter, men långsamt • Stort beroende av fossila bränslen • Hög energiintensitet • Ingen tillkommande klimatpolitik

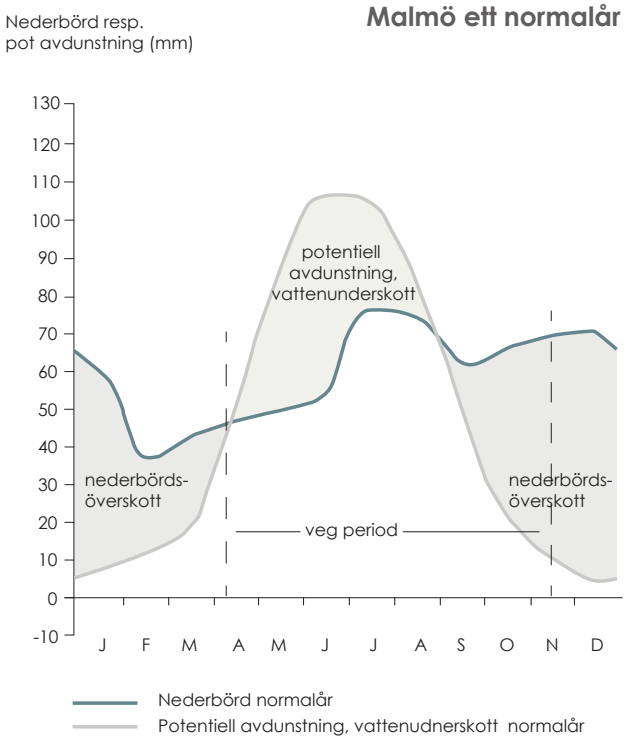
Tabell 3. Antaganden som ligger till grund för scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. SMHI.

referensperioden 1961–1990 enligt SMHI. I tabell 3 framgår att för RCP4.5 lyckas samhället att kraftigt reducera koldioxidutsläppen medans i RCP8,5 kommer utsläppen att öka jämfört med dagens situation. Av tabellerna 1 och 2 kan man utläsa att perioder med låg markfukt kommer att öka, för Stockholm från ca 15 dagar/år till mellan 30-50. Samtidigt som tillgången på vatten kommer att minska kommer den genomsnittliga temperaturen att öka och längden på perioder med dygnsmedeltemperaturer över 20 grader kommer för Stockholm att öka från 3 till 10-25 beroende på scenario.

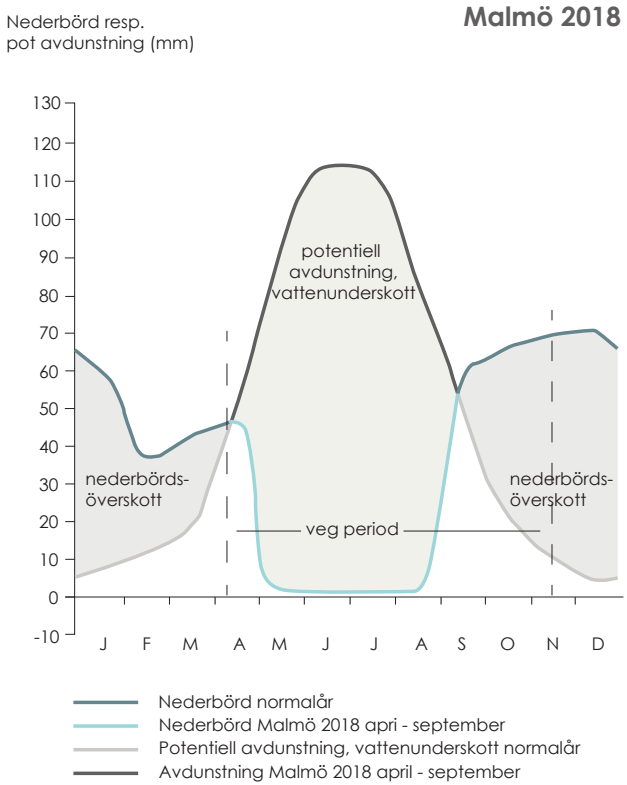
I Malmö har de senaste somrarna varit nederbördsfattiga och torrare än normalt. Framför allt 2018 var extremt torr och varm men även 2020 och 2021 har varit torra. Detta medför stora påfrestningar på vegetationen. I figur 2 kan man utläsa hur avdunstningen, nederbörden och temperaturen förändras under ett normalt år och hur det såg ut under sommaren 2018, figur 3. Generellt har vi ett stort nederbördsöverskott under senhösten och vintern vilket ska täcka underskottet som uppstår under senvåren och sommaren pga. avdunstning.

Normalt buffrar växtbäddens vattenhållande kapacitet ihop med grundvattnet mot den förändrade tillgången på vatten under året. Att skapa växtbäddar som klarar av att buffra så stora volymer som krävs för att klara det stora underskottet som genererades 2018 kommer att bli en utmaning. För att säkra upp vattentillgången gäller det att vegetationssystemen dimensioneras mot detta och här kan det även bli aktuellt att tillföra Stadsvatten/tekniskt vatten för att klara behovet. Läs mer om torka i avsnitt 6.8 och om Stadsvatten i avsnitt 3.3 och 8.3.

Dagvattensystem dimensioneras idag så att de ska klara av att omhänderta avrinningen som genereras från ett nederbördstillfälle med en viss given återkomstperiod, exempelvis ett 20-årsregn eller ett 30-årsregn. Det hade varit intressant att undersöka om det går att applicera samma förhållningssätt mot torka vid stadsplanering. Det vill säga att dimensionera vegetationssystemen efter samhällsekonomiskt försvarbara återkomsttider på torrperioder t.ex. 30 – 50 årstorka. Vid ett sådant resonemang behöver man även ta hänsyn till risken av skador på ekosystemtjänsterna som vegetationen generera och kan ta lång tid att få tillbaka.



Figur 2. Visar på hur nederbörden och avdunstningen förändras under ett normalt år för Malmö.



Figur 3. Visar på hur nederbörd och avdunstning såg ut 2018 för Malmö.

Stadsträd i stor torkstress i Prag.

3.3 Stadsvatten

Befolkningstillväxten och urbaniseringen leder till ökad hårdgörning, dagvattenmängder, dricksvattenförbrukning, och produktion av spillvatten och minskad påfyllning av grundvatten. Följden blir ett stort behov av investeringar för att höja kapaciteten i kommunala ledningsnät, dricksvattenverk och avloppsreningsverk. På ett strategiskt plan finns mål att styra mot en cirkulär vattenanvändning för att minska ovan negativa följder, och vi ifrågasätter allt mer att dricksvatten ska användas för sådant som bevattning och för spolning av parkeringsdäck.

Förutsättningarna som skapas av ett varmare klimat, vattenbrist och utrymmesbrist i stadsrummen kan göra det problematiskt att tillgodose staden med tillräckligt stora växtbäddar för att försörja stora träd och rejäla ekosystemtjänster. Under sommarens torka lider stadens vegetation, och detta kommer att bli mycket mer kännbart i framtiden i takt med klimatförändringen. Tittar vi på städer i södra Europa vars klimat vi kommer att få i Sverige är det en stor och växande fråga. Träd och annan vegetation i städer spelar en mycket viktig roll i att balansera klimatförändringar och göra mikroklimatet mer hälsosamt för människan. Dör träden under en torr sommar kommer det ta decennier innan nya träd kan ge samma effekt för mikroklimatet och förse oss med likvärdiga ekosystemtjänster.

Dagvattensystemen dimensioneras idag för en viss säkerhetsnivå. Vi kommer att behöva applicera samma tankesätt för tillgången på vatten för att vegetationen ska klara längre och mer intensiva torrperioder. För att säkra upp vattentillgången så att vegetationen ska ha möjlighet att överleva långa torkperioder krävs användning av nya vattenresurser.

För att minska vattenanvändningen och återanvända vatten flera gånger, på både individ- och samhällsnivå, genomförs idag såväl tekniska åtgärder som försök till beteendeförändringar. Till exempel åtgärder mot förluster i ledningsnät, bevattningsförbud, installation av snålspolande armaturer liksom ökad användning av Blågröngrå system såsom växtbäddar för dagvatten. Det finns även anledning att utnyttja andra vattenkällor i staden än dricksvatten. Kontinuerliga flöden av outtnyttjade vattenresurser i form av bland annat dagvatten, dränvatten och gråvatten kan nyttjas lokalt via BGG-system. Här benämner vi dessa resurser för Stadsvatten. Ett annat vanligt namn för Stadsvatten är tekniskt vatten.

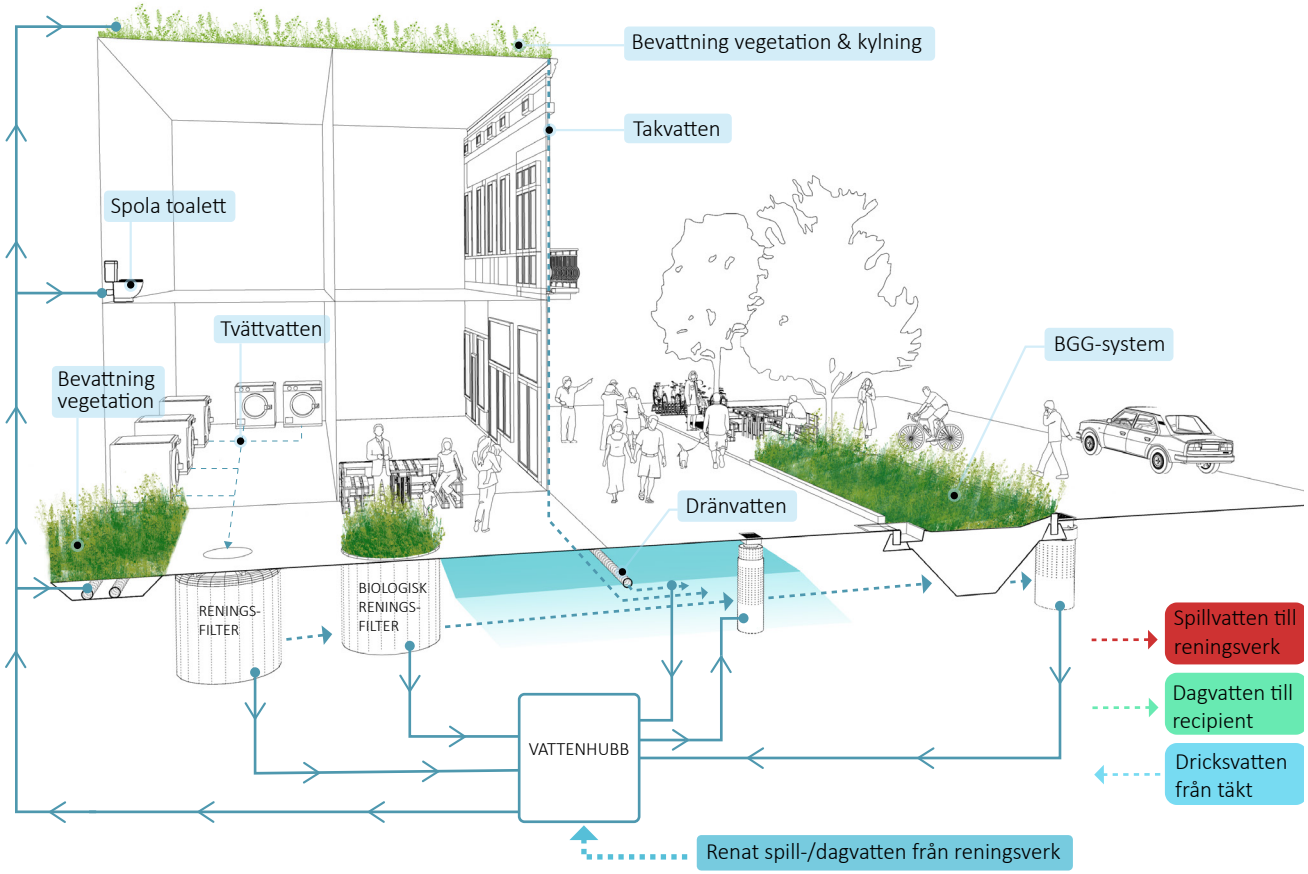
Stadsträd och gräsyta på kvartersmark under stor torkstress, Malmö.

I skrivande stund pågår forskning och försök med att nyttja Stadsvatten. Målet är att bidra till välmående och vital stadsvegetation som kan motstå stora klimatförändringar och fortsätta leverera nödvändiga ekosystemtjänster till staden. Ett relativt okomplicerat sätt att börja nyttja Stadsvatten är att leda dag-, tak- och dränvatten till ett närbeläget BGG-system. Genom en sådan lösning säkras en jämnare vattentillgång för BGG-systemets vegetation. Det mer kontinuerliga flödet kan bevattna stadsvegetationen även när regnvatten inte finns att tillgå. Samtidigt avlastas ledningsnät, recipient och reningsverk. Principen för ett sådant användande av Stadsvatten presenteras i Figur 4.

Nyttjande av Stadsvatten skulle kunna leda till förbättrad vattenresursanvändning i den urbana miljön, minska vattenreningsbehovet och belastningen på ledningsnät, skapa nyttor för fastighetsförvaltare och bolag och bidra till målen om hållbar vattenförsörjning och stadsbyggnad enligt Agenda 2030 samt försörja staden med ekosystemtjänster.

Genom att integrera vattenförvaltning på kvartersmark med den allmänna platsmarken finns det stora möjligheter till förbättrad vattenhushållning. Detta kan leda till lägre kostnader och effektivisering för fastighetsägare, exploatörer och bolag.
Mer information och exempel på mindre fullskaliga och utvecklade system med Stadsvatten finns i kapitel 8.3.

Figur 4. Användning av tak-, dag- och dränvatten för bevattning av och näringstillförsel till BGG-system.



4 BGG-systemets funktioner

I det här kapitlet ges en översiktlig beskrivning av BGG-systemets funktioner. Eftersom systemet kan utformas på ett flexibelt sätt kan det anpassas och dimensioneras till just den grad av olika funktioner som behövs på den aktuella platsen.

4.1 Trafikbelastning

BGG-system kan både fördröja, rena dagvatten och samtidigt fungera som växtbädd. Det som gör systemet särskilt användbart är att det kan uppnå dessa effekter och fortfarande klara trafikbelastningen avseende bärighet och intensitet. Det går därför att använda systemet i vanliga stadsrum där gående, cyklister och motorfordon vistas.

I denna handbok beskrivs konstruktioner som är testade upp till trafikklass 2 eller bärighetsklass 1. Belastningsstudier med och utan vatten i överbyggnaden har utförts och utvärderats i Vinnovaprojektet *Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor.* Det är av yttersta vikt att terassen är stabil, framtida sättningar härrörs ofta till undermåttlig terrass eller packning under anläggning. Om en kran eller kranbil ska ställas upp på en överbyggnad med öppet förstärkningslager ska en flackare friktionsvinkel användas vid beräkning av bärighet.

För trafikklass 2-4 se Svensk Markbetongs skrift *Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning.*

För förtydligande av Figur 5 se även avsnitt 6.2 Figur 14-17, sid. 38-41

Figur 5. Exempel på stadsrum med BGG-system förlagd i flexzon/möbleringszon. Det blå området symboliserar ett öppet förstärkningslagret som här ligger i ett stråk utmed hela gatan. På markytan varvas hårdgjorda ytor med regnbäddar, vegetationsytor och träd på valfritt sätt. På detta sätt ges stora möjligheter till hantering av dagvatten samtidigt som stadsrummet kan utformas flexibelt.

4.2 Fördröjning av dagvatten

Förstärkningslagret i BGG-system utgörs av bergkross där de mindre fraktionerna har sållats bort vilket ger stora hålrum som vatten och luft kan flöda genom. Hålrummen ger materialet en porositet på 30-40 % så att upp till 400 liter vatten per kubikmeter öppet förstärkningslager kan omhändertas. Eftersom hålrummen är större än i konventionella markmaterial har BGG-system hög hydraulisk konduktivitet för vatten- och gasutbyte. Detta skapar möjlighet att styra vattnets flöde inom systemet och att tappa av det till det konventionella ledningsnätet på ett kontrollerat sätt. Förutom fördröjning i det öppna förstärkningslagret kan systemet utformas med regnbäddar där dagvatten kan infiltreras i fördröjningszonen.

BGG-system utformas och dimensioneras olika beroende på hur stora dagvattenvolymer de är tänkta att hantera men principen med öppna förstärkningslager bygger på traditionella dagvattenmagasin. Styrningen av systemen är flexibelt och man kan bestämma om de ska hantera ett mindre regn (1-2 årsregn), dimensionerande regn (10-30 årsregn) eller extremregn (>30 årsregn). Det kan även regleras för flöden däremellan. Dagvatten omhändertas genom att det leds till det öppna förstärkningslagret via till exempel brunnar, dränerande beläggning eller regnbäddar. Vid måttliga dagvattenmängder finns goda möjligheter till rening i samband med fördröjningen.

När reningsbehov av dagvatten inte är styrande kan dagvatten från mindre regn ledas direkt till det konventionella ledningsnätet så att magasinen i BGG-systemet kan ta emot överskott från större regn som ledningsnätet inte har kapacitet att avleda. På så sätt kan översvämningar minimeras. System anpassade för större regn har mer fokus på fördröjning.

Om ovanliggande konstruktioner kopplas ihop med öppet förstärkningslager kan det klara av både rening av mindre regn och fördröjning av kraftiga regn beroende på hur styrningen av flöden utformas.

Om BGG-system anläggs med vegetation kan Stadsvatten (dvs. gråvatten, takvatten och dräneringsvatten från närliggande byggnader) användas för bevattning. Det leder till bättre förutsättningar för vegetationen och mikrolivet samtidigt som det avlastar ledningsnätet och mer cirkulära flöden skapas. Gråvatten, alltså vatten från hushållens dusch och tvätt, kan användas för bevattning om det genomgått lämplig förbehandling. Detta ger vegetationen stor tillgång till vatten även under perioder med lite eller ingen nederbörd. Dessutom avlastas avloppsnätet och man slipper använda dricksvatten för bevattning.

Om tak- dränerings- och gråvatten ska ledas till ett BGG-system bör ansvarsfördelning beaktas. För avledning av gråvatten behövs tillstånd från exempelvis Miljökontoret som vägleder kommunernas miljötillsyn enligt miljöbalken.

Regnbäddar med öppet förstärkningslager som fördröjer och renar dagvatten under en regnskur. Monbijougatan, Malmö

4.3 Vegetation

De gröna delarna av en växt använder koldioxid och vatten i sin fotosyntes vilket skapar kolhydrater och syre. Under mark sker ingen fotosyntes utan en respiration, vilket är en nedbrytning av kolhydrater och därför förbrukar växtrötter syre och avger koldioxid istället. Alltför höga nivåer av koldioxid leder till att rötternas funktion och tillväxt avtar, det är dessutom giftigt för rötterna och orsakar skador på växter mycket snabbare än torka. Detsamma gäller för många svampar och bakterier. Det är alltså mycket viktigt att gasutbytet i marken är välfungerande. Traditionella urbana växtbäddar kan dock vara relativt täta och har därför lågt gasutbyte och vatteninfiltration.

En större volym växtbädd resulterar i att träden kan växa sig större i stadsrummet. Detta medför större påverkan på mikroklimatet då till exempel stora och täta trädkronor bidrar till bättre upplevd temperatur. Regn som faller på trädens blad väter i första hand dessa och en stor andel av årsnederbörden avdunstar utan att någonsin ha nått marken. Processen kallas interception och har upplevts av alla som någon gång tagit skydd från regn under ett stort träd. Frodig grönska ger även flera fördelar för klimatet och människorna. Högre andel vegetation i staden leder till exempel till minskad vindintensitet, lägre temperatur och rikare djurliv. Det ger också vackrare och mer trivsamma stadsrum!

Växtbädd på Strandbogatan, Uppsala

Genom att gynna växternas rötter skapas goda förutsättningar för frisk och frodig vegetation och ett rikt mikroliv i det urbana stadsrummet.

4.4 Rening av dagvatten

För att bidra till att nå vattendirektivets krav om att vattenförekomster ska uppnå god status krävs ett stort fokus på att optimera reningsfunktionen i BGG-system. Om förorenat dagvattnet leds ut till recipienter t.ex vattendrag, sjöar och hav utan föregående rening finns det stor risk för negativ påverkan på vattenkvaliteten och därmed flora och fauna i vattnet. Det mest effektiva sättet att minimera uppkomst och föroreningsspridningen till våra vattendrag är att jobba förebyggande och omhänderta föroreningarna så nära källa som möjligt innan de har spätts ut med renare dagvatten.
Typ och koncentration på föroreningar kan variera stort beroende på vilken slags yta som dagvattnet runnit över. Även tiden mellan nederbördstillfällena påverkar föroreningshalterna i dagvattnet. Vanliga källorna till föroreningar i dagvattnet är exempelvis atmosfäriskt nedfall, förbränning, trafik, metallytor, atmosfäriskt nedfall, gödning, kemikalier, bygg- och anläggningsarbete. Eftersom övergödning är ett stort problem för vattendragen krävs att man utformar sitt BGG-system och väljer material som läcker så lite näringsämnen som möjligt.

Rening av dagvatten sker på flera sätt inom BGG-system. För mer information se avsnitt 6.7.

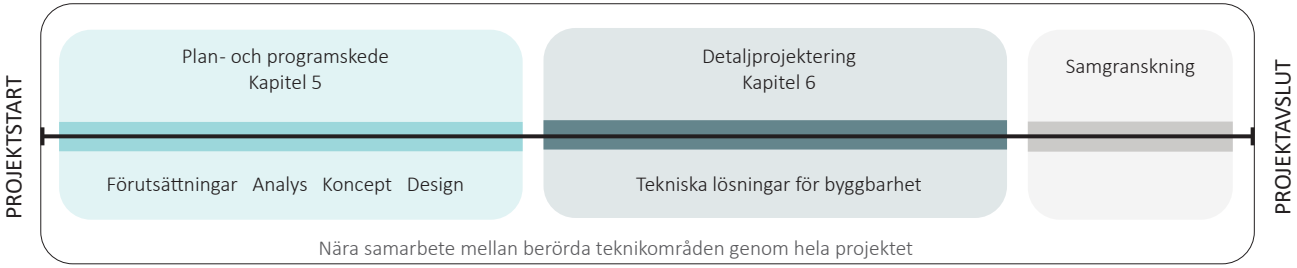
Rundelsgatan i Vellinge före ombyggnad med BGG-system.

Rundelsgatan i Vellinge efter ombyggnad med BGG-system och konstruktionen regnbädd

5 Plan- och programskede

I det här kapitlet beskrivs de förarbeten och undersökningar som bör ligga till grund för utformning av BGG-systemet för att ge goda möjligheter att utforma och anlägga ett effektivt system och ett vackert stadsrum. Även om man ska ta vid arbetet efter ovan process kan det vara bra att gå igenom detta kapitel och checka av att allt är utfört och på önskad nivå.

Figur 6. Schematisk tidslinje, och kapitelindelning i handboken, för anläggnings- eller byggnadsprojekt



5.1 Förutsättningar och mål

Platsens och projektets förutsättningar är avgörande för systemets utformning. Beroende på om systemet anläggs i inner- eller ytterstadsområde, större eller mindre samhällen samt kvartersmark eller allmän platsmark skiljer sig både krav på systemet och utrymme att anlägga det. Om systemet anläggs inom ett exploateringsområde eller i befintlig urban miljö påverkar också förutsättningarna. BGG-system kan utformas på en rad olika sätt beroende på vilka mål som finns med anläggningen. System som är anpassade för att skapa en effektiv dagvattenhantering vid stora regn utformas och dimensioneras annorlunda än system med fokus på vital vegetation och rening av mindre regn.

Hur stadsrummet ska användas är viktigt för utformning av BGG-system. Gångfartsgata, lågfartsgata, lokalgata, uppsamlingsgata, huvudled, parkeringsområde, industrimark eller kvartersmark medför olika trafikbelastning och design av gaturummet. Storlek på avrinningsområde har betydelse för vilket system som bör anläggas. Utrymme för växtbäddar, ledningsstråk, parkeringsplatser och belysningsstolpar med mera måste tas i beaktande.

BGG-system drivs av gravitationskraften och måste därför samspela med höjdsättningen i avrinningsområdet. Alltför stora lutningar innebär begränsningar eftersom de leder till hastiga vattenflöden som kan bli svåra att styra och fånga upp. Stor lutning innebär även minskad fördröjningskapacitet i dagvattenmagasin. Eftersom vattennivån inte lutar med magasinet, utan ställer sig horisontellt, fylls bara den lägst liggande delen upp med vatten och man går miste om stor fördröjningskapacitet. Lutningar större än ca 5% kräver därför speciallösningar som faller utanför ramen för den här handboken. Alternativt kan enskilda konstruktioner anläggas.

Systemet som beskrivs i den här handboken bör inte utsättas för mer än trafikklass 2 eller bärighetsklass 1. I ett gaturum med vägar som har högre krav på bärighet finns ofta möjlighet att anlägga systemet under till exempel flexzoner, vegetationsytor eller gång- och cykelbanor.

5.1.1 Snabbanalys

Inledningsvis i ett plan- eller programskede bör det göras en snabbanalys för att säkerställa att grundförutsättningarna finns för att skapa ett BGG-system. Det är inte säkert att det i ett så här tidigt skede finns svar på de krav och önskemål som kan finnas för projektet, men snabbanalysen kan ändå ses som en hjälp för att kunna göra rimliga antaganden för om det går att realisera ett BGG-system. Om uppgifter kring någon av grundförutsättningarna saknas i detta skede är det en bra start att börja med dem i ett nästa skede av projektet. Det är svårt att redogöra för endast ett tillvägagångssätt att utföra en snabbanalys på, då detta styrs av aspekter så som projektets karaktär, tidigare erfarenheter, vilken information som finns om platsen och projektet etc. Vi redovisar här därför två exemepel på tillvägagångssätt/ordningsföljd för utförande av snabbanalysen. Ett sätt är att ta hjälp av *”Lathund för utformning av BGG-system”* som finns i avsnitt 5.4. Det andra tillvägagångssättet för snabbanalysen beskrivs på sid. 25 i handboken.

Observera att indelningen i generellt högre respektive generellt lägre krav eller ambitionsnivå är en grov uppdelning och förenkling. Målet är att visa hur systemet kan förändras när krav och ambitionsnivå ändras. Ett BGG-system utformas efter platsens förutsättningar, och kan uppnå högre ställda krav trots att konstruktionen till största delen är utformad efter generellt lägre krav, och tvärtom.

5.1.2 Exempel på utförande av snabbanalys

Höjdsättning:

Fråga: Är markens lutning ca >5% eller ca <5%?

Svar: ca >5%, Specialkonstruktion av öppet förstärkningslager krävs, alternativt kan enskilda konstruktioner anläggas.
Svar: ca <5%, ett sammanhängande stråk med öppet förstärkningslager kan anläggas.

Utrymme i plan:

Fråga: Finns det en bredd att tillgå i plan för att anlägga ett öppet förstärkningslager och ev. vegetationsyta som är för Högre kravnivå >2,5m och för Lägre kravnivå >2m?

Svar: Uppfylls ej ovan finns inte förutsättningar för att skapa ett BGG-system.

Låglinjer och lågpunkter

Fråga: Ligger låglinjer och lågpunkter i anslutning till plats för planerat stråk med öppet förstärkningslager?

Svar: Sammanfaller dessa ej med planerat stråk är det generellt sett ej möjligt att anlägga ett BGG-system.

Kravnivå:

Fråga: Vilken sammanvägd generell kravnivå finns för aspekter som fördröjning, rening, drift, bärighet, estetik och växtbäddar - Är kravnivån generellt högre eller lägre?

Svar: Följ respektive generell kravnivå vid granskning av utrymme.

Utrymme i tvärsektion:

Fråga: Finns det ett djup att tillgå för att anlägga ett öppet förstärkningslager på för Högre kravnivå >1,2m och för Lägre kravnivå >0,8m?

Svar: Uppfylls ej ovan finns inte förutsättningar för att skapa ett BGG-system.

Befintliga träd:

Fråga: Finns träd inom stråk för planerat BGG-system som ska bevaras?

Svar: Vid befintliga träd som ska bevaras - Finns det möjlighet att leda stråket/ vattenflödet förbi dessa?

Generellt högre krav (H)

Fördröjning: Omhändertar minst det dimensionerande regnet. Fördröjning enl. P110. 10–30 årsregn.
Rening: Generell reningsgrad på ca 70–80% av årsbelastning.
Bärighet: Minst TK2 / BK1.
Växtbäddsegenskaper: Större förmåga att hålla vatten och näring. Större växtbäddsvolymer. Högre krav på vitalitet hos vegetation.
Estetik: Exempelvis kantstöd av granit, undervegetation buskar och perenner
Drift och underhåll: Högre säkerhet mot driftstörningar, som högre krav på komponenter och material. Täcklager kan utvecklas på alla vegetationsytor.

Generellt lägre krav (L)

Fördröjning: Omhändertar minst det dimensionerande reningsregnet. 1–2 årsregn.
Rening: Generell reningsgrad på ca 40-50% av årsbelastning.
Bärighet: Upp till TK2 / BK1
Växtbäddsegenskaper: Mindre förmåga att hålla vatten och näring. Mindre växtbäddsvolymer. Lägre krav på vitalitet hos vegetation.
Estetik: Exempelvis kantstöd av betong, gräsyta som undervegetation med eventuellt inslag av buskar.
Drift och underhåll: Normal säkerhet mot driftstörningar och normala krav på komponenter och material.

Exempel på öppen dagvattenlösning med regnbäddar i gata som lutar mer än 5%.
Oslo, Norge

5.2 Koncept och programhandling

Redan i planskedet bör behovet av och förutsättningarna för, BGG-system undersökas. På detta sätt lyfts systemets nödvändighet och förutsättningar redan i ett tidigt skede så att olika teknikområden enklare kan samarbeta. Efter att en snabbanalys har utförts inhämtas ytterliggare information för att ta fram ett koncept/program. Ett antal utredningar behöver göras för att säkerställa att platsen uppfyller kraven för att skapa ett BGG-system. Framförallt är det utrymme i stadsrummet och markens lutning som bör kontrolleras. Eventuella krav på fördröjning eller rening samt växtbäddsvolym och växtbäddsegenskaper är också av stor vikt. Därefter görs en övergripande utformning och grov dimensionering av systemet, både ovan och under mark, som införs i gestaltningsprogram eller dylikt.

Det är viktigt att även beakta aspekten av arbetsmiljö och vad som händer om det sker läckage av föroreningar och gifter på grund av en olycka. BGG-system placeras ofta i gatumiljö, vilket innebär att personal ska befinna sig i gatumiljö. När arbete och underhåll av BGG-system ska utföras kan det innebära, beroende på trafikmängd och hastighetsbegränsning, avstängning av gatan eller att TMA-skydd blir aktuellt.

Fastslå följande information för konceptet:

- Typ av stadsrum som ska utformas.
- Rummets övergripande design, ex flexzon
- Typ av trafik (bilar, cyklar, gående etc.)
- Trafikbelastning ovan öppet förstärkningslager.
- Rummets längslutning och lågpunkter.
- Önskad mängd vegetationsytor.
- Förekomst av källare i intilliggande byggnader och behov av spontning.
- Behov av belysningsstolpar och andra fasta objekt.

5.3 Projektvägledning

Tillvägagångssättet för att projektera ett BGG-system skiljer sig inte mot konventionella system. Precis som för ett konventionellt projekt som föregåtts av planskede gör man på samma sätt när det kommer till BGG-system och går igenom samma punkter som från planskedet, men med högre detaljeringsgrad.

Nedan finns en punktlista som stöd under projektets process. Punktlistan hänvisar till olika kapitel i handboken för den som vill läsa mer.

- Finns det en höjdsatt situationsplan?
  Behövs det tas fram förutsättningar för att göra en sådan? Läs mer om stadsrummets förutsättningar på sid. 24, kapitel 5.1.

- Finns det en dagvattenutredning?
  Läs mer om krav på rening och fördröjning på sid. 22, kapitel 4.4. Stäm även av mot: EU:s vattendirektiv, Natura 2000-område, Miljöbyggprogram, Svenskt vatten P110, Kommunens dagvattenpolicy, Lagen om allmänna vattentjänster (LAV), Allmänna bestämmelser VA (ABVA) och Detaljplan.

- Finns det en geoteknisk undersökning?
  Läs mer om geoteknik på sid. 31, kapitel 5.6.

- Välja BGG-system
  Läs mer i Lathunden på sid. 29, kapitel 5.4

- Var finns ledningsstråken eller var är det tänkt att de ska gå?
  Om möjligt försök etablera fredade ytor för BGG-systemen. Läs mer om ledningskontroll på sid. 32, kapitel 5.7.

- Trafikklass och bärighetsklass
  I denna handbok beskrivs konstruktioner som är testade upp till trafikklass 2 / BK 1. Läs mer om trafikklasser på sid. 20, kapitel 4.1 och Svensk markbetong, ***Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning.***

- Arbetsmiljö
  Vid arbete med/ underhåll av BGG-system i gatumiljö kan åtgärder behöva vidtas för personalens säkerhet. Läs mer om arbetsmiljö på sid. 26, kapitel 5.2.

- Dimensionering av magasin
  Dimensionering av magasin, dvs. öppet förstärkningslager och fördröjningszon i regnbädd, kan göras enligt konventionell metod, förslagsvis Regnenveloppmetoden. Läs mer om magasin och fördröjningsvolym på sid. 91, kapitel 7.2 / 7.3

- Dimensionering av växtbädd
  Se till att tillräcklig växtbäddsvolym uppnås, läs mer på sid. 92, kapitel 7.4.

- Dimensionering och utformning av flöden i komponenter
  Alla komponenter och material som påverkar flödet i systemet bör granskas avseende flödesintensitet och nivåer för vattengångar. Förutom att säkerställa flöde i ledningar måste även önskat bottenflöde i öppet förstärkningslager säkerställas. Läs mer om öppet förstärkningslager på sid. 38 och 64, kapitel 6.2 och 6.4

  Dimensionering av flöden kan göras enligt konventionell metod, förslagsvis Rationella metoden. Läs mer om Rationella metoden på sid. 90, kapitel 7.1.

- Reningskrav
  Om reningskrav finns ska en reningssimulering utföras. Läs mer om reningsgrad på sid. 92, kapitel 7.5.

- Projekteringsförutsättningar?
  Ska projektet utföras i en eller två etapper? För förslag på tillvägagångssätt se kapitel 6 samt *Bilaga 1, Utförandebeskrivningar för BGG-system.*

5.4 Lathund

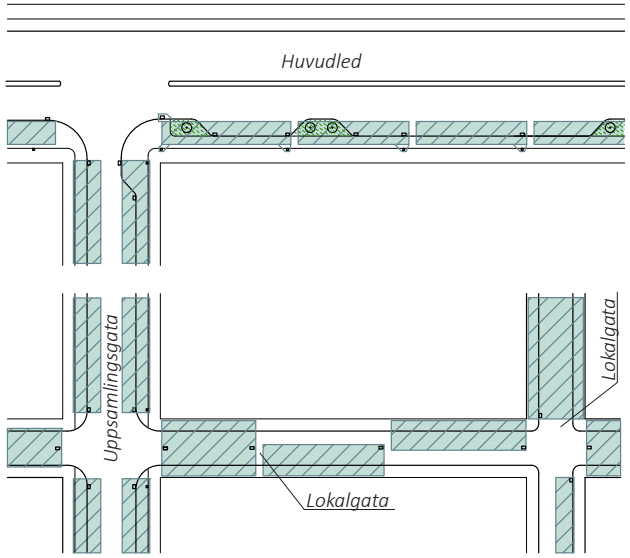
Lathundens syfte är att utifrån platsens förutsättningar och mål bidra med vägledning kring utformning av systemet, exempelvis om systemet ska vara stort, litet, enskilt eller sammansatt och vilka konstruktioner i marknivå som bör användas. Det blir också lättare att hitta till rätt principritning och utförandebeskrivning.

Lathunden är tänkt att fungera som ett hjälpmedel för att välja BGG-system. Det är viktigt att se till helheten när man väljer system och värdena i Lathunden bör ses som riktlinjer. Lathunden leder fram till ett resultat i form av en siffer- och bokstavskombination. Siffran indikerar om ett sammanhängande stråk av öppet förstärkningslager kan användas (2) eller inte (1). Ett sammanhängande stråk ger möjlighet till större fördröjning av dagvatten och ett mer flexibelt system men är mer utrymmeskrävande. Ett alternativ är att bara anlägga öppet förstärkningslager på lokala partier under enskilda konstruktioner i marknivå. Vilka konstruktioner som är lämpliga för platsen anges med bokstaven (A-G) i lathundens resultat.

Täckta regnbäddar, se avsnitt 6.3.5, är inte inkluderade i Lathunden men kan ses som en sammanslagning av konstruktionen för en regnbädd och ett träd i hårdgjord yta. Svackdike (F), se avsnitt 6.3.7, inkluderas inte heller men kan ses som en variant av regnbädd. Konstruktionerna i lathunden bygger på användandet av ett koncentrerat stråk, därför är inte vidsträckt dränerande beläggning (G) med.

För definition av högre och lägre krav se ”Snabbanalys” avsnitt 5.1.2. En förenklad bild är att se de högre kraven som konstruktioner för innerstadsområden och de lägre kraven som konstruktioner för ytterstadsområden.

Var i stadsrummet det öppna förstärkningslagret anläggs samt dess utbredning i plan och på djupet skiljer sig ofta åt beroende av vilken typ av stadsrum det rör sig om, se figur 7. För huvudled och uppsamlingsgata läggs stråket ofta i flexzon och under gc-yta. För lokalgata (shared space), gångfartsområde och lågfartsgata kan förstärkningslagret i hela gatans bredd bytas ut till öppet förstärkningslager. Man kan också välja den ena eller andra halvan eller mitten av gaturummet för det öppna förstärkningslagret. Ju bredare man går desto grundare görs lagret.



Figur 7.
Exempel på utbredning av öppet förstärkningslager för olika typer av stadsrum.

Utformning av öppet förstärkningslager:

1. Enskilda konstruktioner med öppet förstärkningslager
2. Konstruktioner på sammanhängande stråk av öppet förstärkningslager

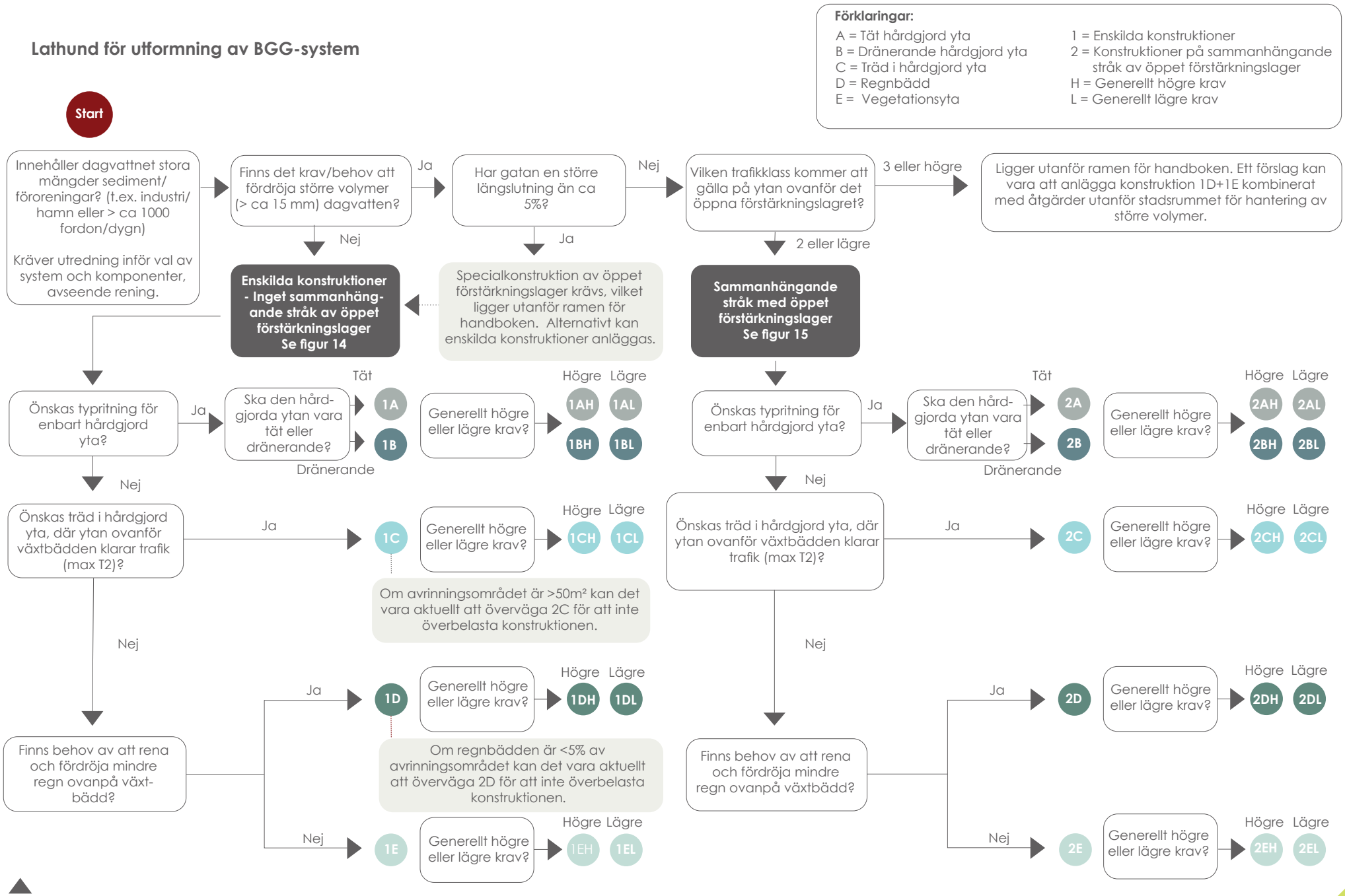
Konstruktioner som beskrivs i handboken:

A. Tät hårdgjord yta
B. Dränerande hårdgjord yta
C. Träd i hårdgjord yta
D. Regnbädd
E. Vegetationsyta
F. Svackdike
G. Vidsträckt dränerande beläggning

Högre eller lägre generella krav:

H. Generellt högre krav
L. Generellt lägre krav.

Lathund för utformning av BGG-system



Figur 8. Lathund för utformning av BGG-system

5.5 Dagvattenutredning

Det är viktigt att applicera ett helhetstänk när förvaltningskedjan planeras för dagvatten i en stad. Förslagsvis efterföljs IWAs koncept *Vattenkloka Städer,* där ett holistiskt angreppssätt föreslås för att gå från linjära till cirkulära flöden för vattenresurser.

En dagvattenutredning behöver göras för att se hur systemet förhåller sig till närliggande system. Med en välfungerande förvaltningskedja (se Figur 9) når en mindre, och renare, del av dagvattnet recipienten. Vattnet kommer bland annat infiltreras ner i marken, filtreras och tas upp av vegetation. Rening av dagvatten bör utföras så tidigt i förvaltningskedjan som möjligt. I senare steg förs vattenmassor från olika källor samman och rent vatten blandas med smutsigt. Det gör att större mängder vatten måste behandlas för att fånga upp samma mängd föroreningar. Genom att behandla och fördröja vattnet tidigt kommer man åt föroreningarna vid källan när de är koncentrerade och senare hantering i förvaltningskedjan kan fokusera mer på fördröjning.

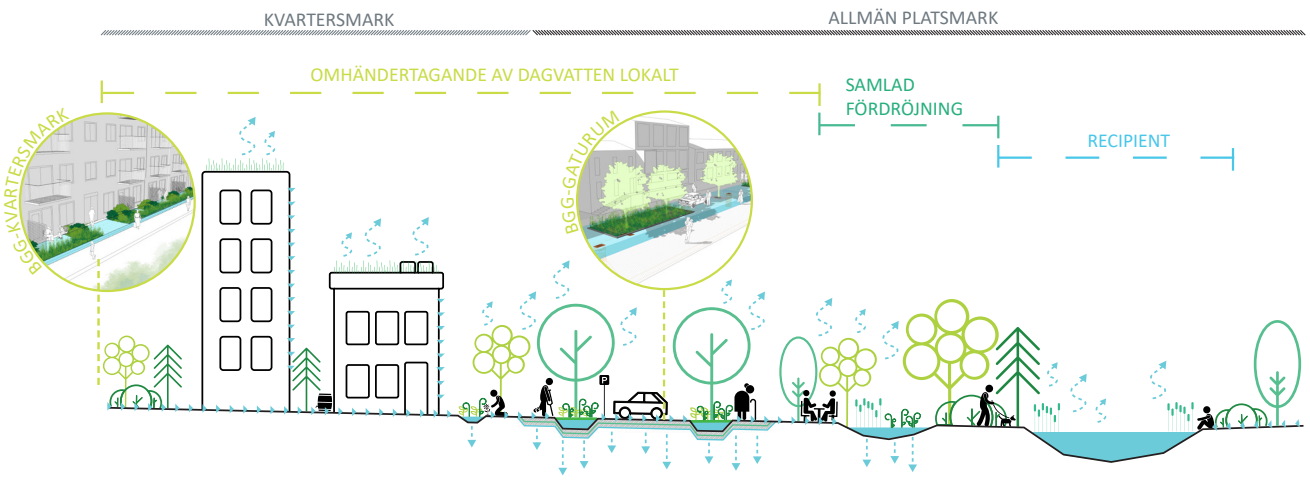
Första steget är att arbeta med förebyggande åtgärder såsom gröna tak, infiltrerande beläggningar och vegetationsytor för att ta hand om nederbörden. För att minska mängden föroreningar i dagvattnet är det viktigt att arbeta med miljövänliga bygg- och ytbehandlingsmaterial samt se till att kontinuerligt städa utemiljön.

Högst upp i kedjan bör det finnas åtgärder för att fördröja dagvatten lokalt på kvartersmark, till exempel innergårdar, industriområden och parkeringsplatser. När dagvattnet når allmän platsmark, som gaturum och mindre parker, bör fokus vara på både rening och fördröjning, men också transport av vattnet för att minska risken för översvämning. Ytor som används för lek, sport och rekreation kan anta funktionen som fördröjningsmagasin vid extremregn. Längre ner i förvaltningskedjan kommer större allmänna parker och grönytor där det finns möjligheter att anlägga dammar och våtmarker för samlad fördröjning och rening.

Tidigt i processen behöver det framgå vilken typ av ledningssystem som finns i området. Exempelvis om det är duplikat eller kombinerat. Detta kan påverka hur systemet utformas avseende typ av regn som omhändertas.

Genom att ha en klar bild av det aktuella BGG-systemets position i förvaltningskedjan kan det utformas på ett optimalt sätt.

Trots att kvartersmark utgör 70% av all mark i våra städer kan det idag inte ställas några krav på dagvattenhantering för dessa ytor. Däremot är det allt fler kommuner som sätter upp rekommendationer på fördröjning för större om- och nybyggnationer. Det finns goda exempel på projekt där BGG-systemet utgör en stor del av dagvattenhanteringen på kvartersmark. Läs mer om BGG-system på kvartersmark i avsnitt 6.10.



Figur 9. Här visas hela förvaltningskedjan för dagvatten. BGG-system bidrar med rening och fördröjning nära källan i olika stadsrum.

5.5.1 Krav på rening och fördröjning av dagvatten

Kommunen, länsstyrelsen eller det lokala VA-bolaget ställer ofta krav på rening och fördröjning som behöver efterföljas. Vilka regn som är dimensionerande för platsen och om Stadsvatten ska omhändertas bör tidigt utredas för att avgöra hur systemet ska dimensioneras. Recipientens status och andra dagvattenanläggningar som finns nedströms och uppströms bör även ses över för att få en samlad bild av dagvattensituationen.

Avseende rening är det både recipientens status och det ingående dagvattnets föroreningsgrad som ställer krav på systemet. Hög trafikbelastning eller verksamheter som industri och hamn orsakar ofta en stor mängd föroreningar och sediment i dagvattnet. Att kartlägga avrinningsområdet innan projektering påbörjas ger nödvändig information.

Inhämta följande information i ett tidigt skede:

- Krav på rening och fördröjning
- Andra dagvattenanläggningar nedströms och uppströms
- BGG-systemets position i förvaltningskedjan för dagvatten
- Recipientens status
- Trafikintensitet i avrinningsområdet
- Verksamheter i avrinningsområdet
- Omhändertagande och ansvar av takvatten

5.6 Geoteknisk undersökning

En geoteknisk undersökning ger svar på egenskaper och material i undergrunden och omgivande mark samt om det förekommer berg som kan kräva sprängning för att skapa utrymme för BGG-systemet. Undersökningen svarar även på om det är möjligt för dagvatten att perkolera ner till grundvattnet. För att det ska vara lämpligt att anlägga BGG-system bör materialet i undergrunden uppfylla de krav som ställs på terrassen enligt koden för jordschakt kategori B i AMA. Om terrassen består av lerjord kan ett lager sand behövas läggas ut ovan på för att skapa en tillräckligt stabil terrass som möjliggör önskad packning av ovanliggande material. Har undergrunden en mycket hög genomsläpplighet kan det vara aktuellt att täcka den med ett material med lagom genomsläpplighet för att uppnå högre tillgång på vatten för vegetationen. Om det förekommer föroreningar i undergrunden bör systemet tätas så att perkolerande dagvatten inte drar med sig dessa till grundvattnet eller en eventuell dricksvattentäkt.

Inhämta följande information i ett tidigt skede:

- Material i undergrund och omgivande mark
- Infiltrations- och perkolationskapacitet
- Grundvattennivå och grundvattenflöden
- Förekomst av föroreningar
- Behov av skydd för grundvattnet (exempelvis om det finns dricksvattentäkt)
- Behov av att infiltrera dagvatten för att minska risken för sättningar till följd av torka
- Förekomst av berg
- Behov av att förbättra terrassen

5.7 Ledningskontroll

I situationer där BGG-system ska anläggas intill olika typer av markförlagd infrastruktur krävs information och samordning med aktuella ledningsägare för att hitta den bäst anpassade lösningen. Det är fördelaktigt att tidigt lyfta frågan om ledningsdragning under och i öppet förstärkningslager så att samtliga parter är medvetna om eventuella risker och olägenheter.

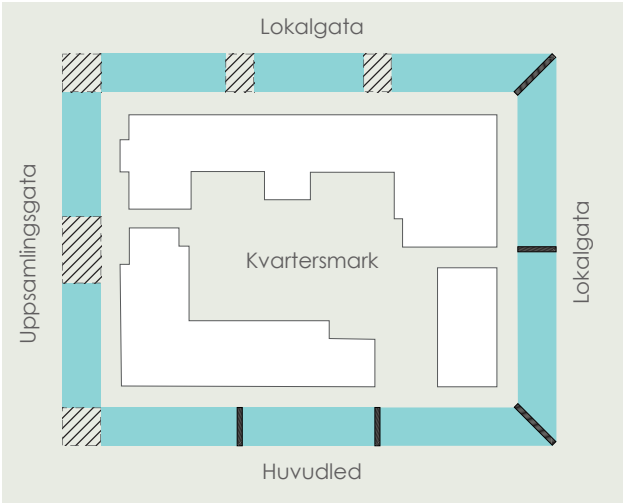
Ledningar kan förläggas under eller i BGG-system. Jämfört med konventionella överbyggnader består BGG-systemet av fler lager och olika material vilket kan medföra merarbete vid framtida grävning till ledningar med risk att systemet skadas eller får nedsatt funktion. Ovanför öppet förstärkningslager kan ledningar med fördel anläggas.

Att undvika ledningar är förstås enklare inom exploateringsområden där ledningsdragning och anslutningspunkter kan planeras i avbrott mellan stråken med öppet förstärkningslager. Se figur 10 för förslag på princip för BGG-system och avbrott. I befintliga miljöer krävs noggranna undersökningar för att hitta den optimala kombinationen av utformning av systemet och eventuell ledningsflytt.

För att läsa mer om ledningar se avsnitt 6.1.4.

Inhämta följande information i ett tidigt skede:

- Kartläggning av befintliga ledningar
- Kartläggning av nya ledningsstråk
- Policy avseende förhållningssätt mellan BGG-system, ledningsstråk och ledningstyper



Figur 10.
Förslag på placering av stråk med öppet förstärkningslager och avbrott. I avbrotten kan anslutnings/grenledningar förläggas in till kvartersmark från stamledningar.

Avbrott med tät vall
Avbrott med tät duk
Stråk av öppet förstärkningslager

5.8 Projektsamordning och ekonomi

BGG-system berör många teknikområden inom stadsbyggnad; gatu- och VA-ingenjörer, geotekniker, stadsplanerare och andra som jobbar inom landskap, fastighet och miljö. Det kan vara en utmaning att få alla inblandade att arbeta tillsammans och mot samma mål. Det tvärvetenskapliga tänkandet är dock viktigt i alla faser, från budgetering och projektering till anläggning och drift.

Viktiga uppgifter riskerar att falla mellan stolarna på grund av oklara ansvarsområden. Tidigt i projektet behöver beslut tas om hur kostnader och ansvar inom projektering, anläggning samt drift och underhåll ska fördelas. Genom en tydligt dokumenterad fördelning och att tilldela en person det övergripande ansvaret för BGG-systemet kan man undvika att uppgifter faller mellan stolarna och bygga system som ger fördelar för samtliga parter.

För att alla i projektet ska ha en gemensam grund och kunskap om vad BGG-system innebär bör ett informationsmöte eller utbildning hållas. Den här handboken är ett utmärkt redskap som ger alla parter inom projektet förståelse för systemet och gemensam terminologi. Även anläggningspersonal och besiktningspersoner bör genomgå utbildningen och ges information om vanliga fallgropar och anläggningssätt som skiljer sig från konventionella metoder. Små fel i anläggningsskedet kan betyda att systemet inte fungerar som det är tänkt.

När man arbetar med BGG-system måste det traditionella silotänket med uppdelade förvaltningar, arbets- och teknikområden ändras till att skapa incitament och tydliga samarbetsmiljöer.

Figur 11. BGG-system berör många olika teknikområden och förvaltningar vilket kräver bra samordning och samarbete.

Vegetationsyta på öppet förstärkningslager. Inom stråket, som är en forskningsanläggning, finns det även regnbäddar med och utan vegetation.
Eksätravägen, Stockholm

6 Detaljprojektering

BGG-system kan utformas med stor flexibilitet för att passa platsens förutsättningar. Det utgörs av både konstruktioner i marknivå och av öppet förstärkningslager. I det här kapitlet beskrivs exempel på olika typer av utformning och konstruktioner samt ingående material.

6.1 Inför detaljprojektering

Vid varje materialval och tjocklek bör projektören fundera över hur detta påverkar: rening, fördröjning, bärighet, växtbäddsegenskaper samt integration med kringliggande material och infrastruktur. Konstruktioner i marknivå kan förse platsen med grönska eller hårdgjorda ytor men också hjälpa till med bortledning och rening av dagvatten (se avsnitt 6.3). Systemen kan hänga ihop eller anläggas helt enskilt, beroende på önskemål och behov. Under mark grundas konstruktionerna av öppet förstärkningslager för att fördröja och rena dagvatten samt erbjuda stort utrymme för växtrötter. Ju större volym av öppet förstärkningslager desto bättre kan BGG-systemet uppfylla dessa funktioner.

6.1.1 Principritningar

Till den här handboken hör ett antal principritningar som underlättar vid projektering ihop med bilaga 1. Genom att använda lathunden (se avsnitt 5.4) uppnås en siffer- och bokstavskombination som indikerar vilken typ av system och vilka konstruktioner i marknivå som är lämpliga för en viss plats. Denna information kan användas för att efterfråga rätt principritning att utgå ifrån. Principritningar får inte hänvisas till eller medskickas i förfrågningsunderlag eller liknande. BGG-system måste alltid anpassas till de specifika egenskaper och förutsättningar som finns i ett projekt. Att inte ta detta i beaktning innebär risk för att systemet inte uppnår önskade mål vilket kan få stora och kostsamma skador som följd. Även handbokens *Utförandebeskrivning (Bilaga 1)* ska ses som en generell guide som kan behöva justeras efter de aktuella förutsättningarna.

1. Konventionell överbyggnad
2. Växtsubstrat
3. Kokosmatta med avjämningslager under
4. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan biokol eller pimpsten användas.
5. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan pimpsten användas.

Figur 12. Exempel på sektion med utbredning i gaturum för BGG-system med generellt högre kravnivå

6.1.2 Ritningar och dokument

Vid projektering av BGG-system kan det bli svårt att avgöra vem som ritar vad och på vilka ritningar saker skall redovisas i och med att flera teknikområden delar på det öppna förstärkningslagret och andra material och komponenter. Detta kräver ett välfungerande samarbete mellan de som projekterar landskap, gata och VA. BGG-projektering kan till och med betraktas som ett eget teknikområde. Höjdsättning på mark och kantstöd bör kontrolleras med gatuprojektörer eftersom dessa delar är avgörande för BGG-systemets funktion och inför växtval behöver man ha systemets förutsättningar tydligt formulerade (se avsnitt 5.1). Det är viktigt att tidigt bestämma vem som ritar vad och var det redovisas samt att regelbundet stämma av projekteringen för att undvika missförstånd. Om möjligt rekommenderas 3D-projektering. Då blir det enklare att se eventuella kollisioner mellan till exempel ledningar och öppet förstärkningslager. Om det inte går att projektera i 3D kan man rita systemet i 2D men det kräver noggrannare kontroller för att undvika fel.

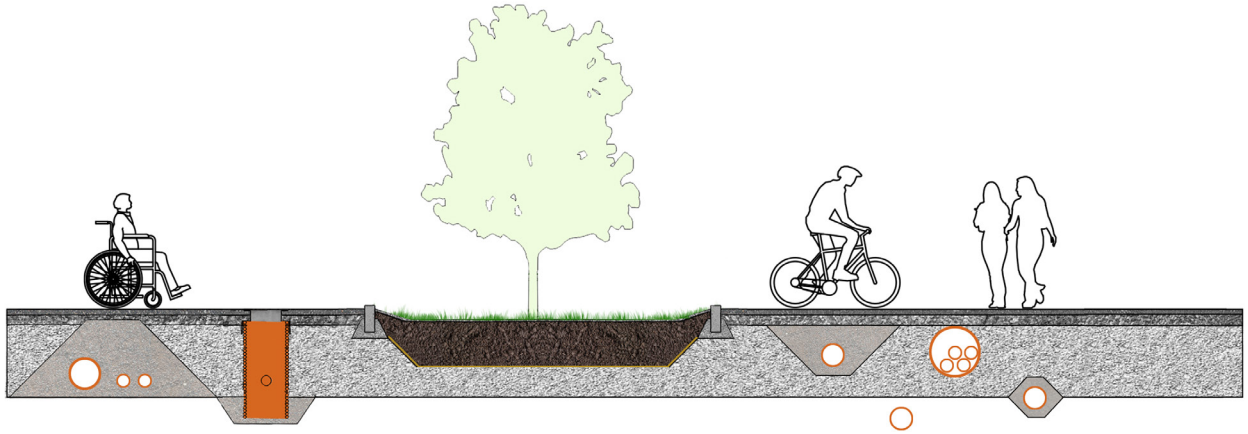
Det är också viktigt att ha tydliga avgränsningar för exempelvis mängdförteckningen och teknisk beskrivning. Genom att dela upp koder som omfattar mer än ett teknikområde i flera mängdrader, så att varje projektör bara behöver mängda det hen själv ritat, minskar risken för fel vid senare revideringar. Korrekt nomenklatur för olika typer av växtbäddar är av stor vikt, till exempel regnbädd, vegetationsyta inom BGG-system och ”vanlig” plantering.

6.1.3 Höjdsättning

Låglinjer och lågpunkter styr avrinningsområdenas storlek och avgör var brunnar och regnbäddar placeras. Även vattnets rinnsträcka bör tas i beaktande för att undvika olägenheter. Vid marklutningar över 5% blir det svårt att skapa ett effektivt BGG-system enligt den modell som beskrivs i den här handboken. Då krävs speciallösningar för att fånga upp hastigt flödande vatten och skapa effektiva fördröjningsmagasin.

I och med att föroreningsgraden skiljer sig mellan körbana och GC-yta kan det vara fördelaktigt att leda vatten från de respektive ytorna till olika delar av systemet. Till exempel kan regnbäddar användas för det mer förorenade vattnet från vägar och avrinning från GC-ytor kan ledas direkt till öppet förstärkningslager. Detta innebär ofta att det behövs två låglinjer per gaturumshalva. Gaturummet bör därför delas in i flera små avrinningsområden där volym och flöden beräknas för varje område.

Tallar i hårdgjord yta, konstruktion C.
Platt- och asfaltytor är uppbyggda med öppet förstärkningslager.
Dagvatten tas in i s.k. luftdagvattenbrunnar.
Foto: Örjan Stål



Figur 13. Längdsektion med redovisning på olika sätt att förlägga ledningar tvärs stråket med öppet förstärkningslager. Bilden ovan är en illustration över en möjlig situation och beskriver inte en teknisk lösning.

6.1.4 Ledningar och konstruktioner

Generellt sett skiljer sig inte BGG-system något nämnvärt från andra system när det gäller integrationen av ledningar. Men för att undvika skador på BGG-systemet och mer komplicerade schakt- och återställningsarbeten bör förekomst av ledningar inom och under systemet minimeras.

För nödvändiga korsningar genom systemet kan ledningspassager uppbyggda med samkross anläggas. Tomma ledningsrör för framtida ledningsdragning kan förläggas var man vill inom systemet, se figur 13 för illustration över möjlig situation. Ledningspassager kan förläggas i avbrotten mellan stråken av öppet förstärkningslager. Ovanför öppet förstärkningslager kan däremot ledningar med fördel anläggas, till exempel el, tele, opto m.fl. som ofta ligger på ett djup av 40-60 cm.

För andra fasta konstruktioner, såsom fundament av olika slag, är det oftast kringfyllning eller betong för gjutning som kan innebära problem för BGG-system. Kringfyllning tar upp stora volymer som är värdefull ur magasinerings- och flödeshänseende. För att komma runt problemet kan bergkross utan finmaterial användas i vissa fall eftersom det inte förhindrar vattenflödet. Det är dock viktigt att ha en dialog med en konstruktör för att säkerställa stabilitet på fundamenten, exempelvis kan fundamentets form/bottenplatta behöva anpassas om kringfyllnaden inte innehåller finmaterial (se foto sid. 37).

Exempel på utseende av fundament i BGG-system som möjliggör kringfyllnad utan finmaterial

Det är framförallt positivt att inom systemets nedersta halvmeter arbeta med kringfyllning utan finmaterial eftersom det är där den största mängden vatten rinner fram. Om ledningar inte kan undvikas inom ett BGG-system ska utformningen anpassas så att vatten inom systemet alltid har möjlighet att flöda ohindrat på botten. Det öppna förstärkningslagrets nedersta halvmeter ska hållas fri från hinder men ovan denna höjd kan enstaka ledningspassager utföras.

Rotinträngning i ledningar undviks främst genom att skapa goda förutsättningar för träd och andra växter inom avsedda delar av växtbädden. Inblandning av biokol och ordentlig genomluftning av systemet är viktiga detaljer som gynnar vegetationen. För att ytterligare skydda ledningar bör de kapslas in med bergkross som innehåller finmaterial. Kringfyllnaden måste då omgärdas med geotextil för att finmaterialet ska stanna på avsedd plats och inte ge upphov till sättningar. För mer information se ***Grävningsmanual (Bilaga 3).***

Då betong används, till exempel för fastgjutning av kantstöd, kommer en liten del av betongen att rinna in i det öppna förstärkningslagret innan materialet härdat. För att minimera materialkostnaden bör en trögflytande betong användas. Geotextil eller annan duk ska inte användas för att uppnå denna funktion.

6.1.5 Anläggningsprocessen

När BGG-system anläggs inom exploateringsområden utförs processen med fördel i två skeden. Det första skedet som en arbetsgata där uppbyggnaden av det som senare ska bli underjordiska konstruktioner täcks med bärlager och asfaltsgrus samt brunnar med täta plåtar. På så sätt kan övrig anläggning, till exempel husbyggnation, utföras utan att systemet tar skada då inga komponenter sticker upp och kan köras sönder. Likaså kan hela stadsrummet användas som transport- och avlastningsyta utan risk för sättningar eller andra skador. I anläggningens andra skede, finplanering eller slutskedet, öppnas schakt för träd i hårdgjord yta, regnbäddar samt vegetationsytor och projektet avslutas med plantering och att ge brunnar slutlig höjd och betäckning. Då BGG-system anläggs inom befintligt område finns inte behov av att pausa processen utan all anläggning utförs i ett enda skede. De flesta steg är dock identiska med hur anläggning i två skeden utförs. Däremot kan materialutbredning och slänter skilja.

I *Utförandebeskrivningar för BGG-system (Bilaga 1)* finns detaljerade instruktioner för hur ett BGG-system anläggs. Det finns separata beskrivningar för anläggning i ett eller två skeden och för samtliga av de i handboken beskrivna konstruktionerna. Att läsa utförandebeskrivningen inför projektering rekommenderas eftersom det ger utökad förståelse för hur systemen byggs upp, samt förslag på AMA-koder både för 17 och 20.

Anläggning av BGG-system. Utläggning av öppet förstärkningslager med biokol.

6.2 Öppet förstärkningslager

Om det aktuella stadsrummet har hög längslutning, hög trafikbelastning eller ogynnsam placering av befintlig infrastruktur kan det vara svårt att anlägga sammanhängande stråk av öppet förstärkningslager. På sådana platser utformas BGG-system med enskilda konstruktioner som regnbädd, vegetationsyta, träd i hårdgjord yta och genomsläppliga ytor på lokala partier med öppet förstärkningslager. Kapaciteten att omhänderta och fördröja dagvatten begränsas då av varje enskild konstruktions förmåga och av möjligheten att placeras optimalt i stadsrummet. För val av fraktioner se *Bilaga 1* samt sid. 64 i handboken. I projektet bör det även utredas om det går att använda återvunnet material till det öppna förstärkningslagret.

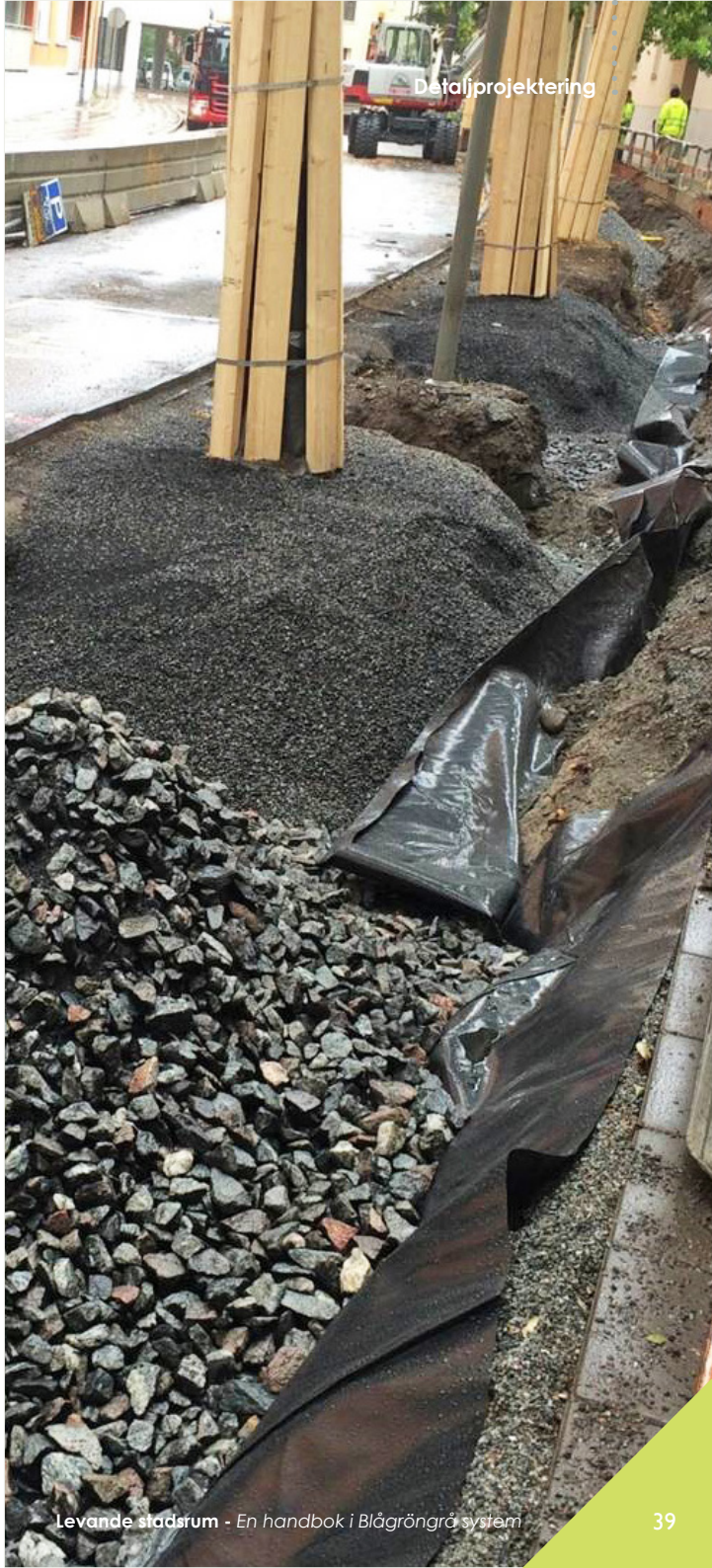
Det är även viktigt att ta reda på ifall intilliggande byggnader kommer ha eller har källare då det finns risk för att dagvatten via BGG-systemet kan nå husgrundsdräneringen. Även behov och utrymme för spontning behöver beaktas vid placering av BGG-system så att de två inte kolliderar.

Genom att anlägga BGG-system med ett sammanhängande stråk av öppet förstärkningslager maximeras dess fördröjande kapacitet, flexibilitet och växtbäddsfunktion. Stråket kan delas in i enheter för att dagvatten ska kunna fylla upp så stor volym som möjligt och inte bara den lägst liggande änden. Styrbrunnar kan reglera flödet mellan enheterna och det konventionella ledningsnätet och ger möjlighet till bräddning om BGG-systemet blir fullt. Dagvatten når systemet via brunnar eller infiltration genom konstruktioner i marknivå.

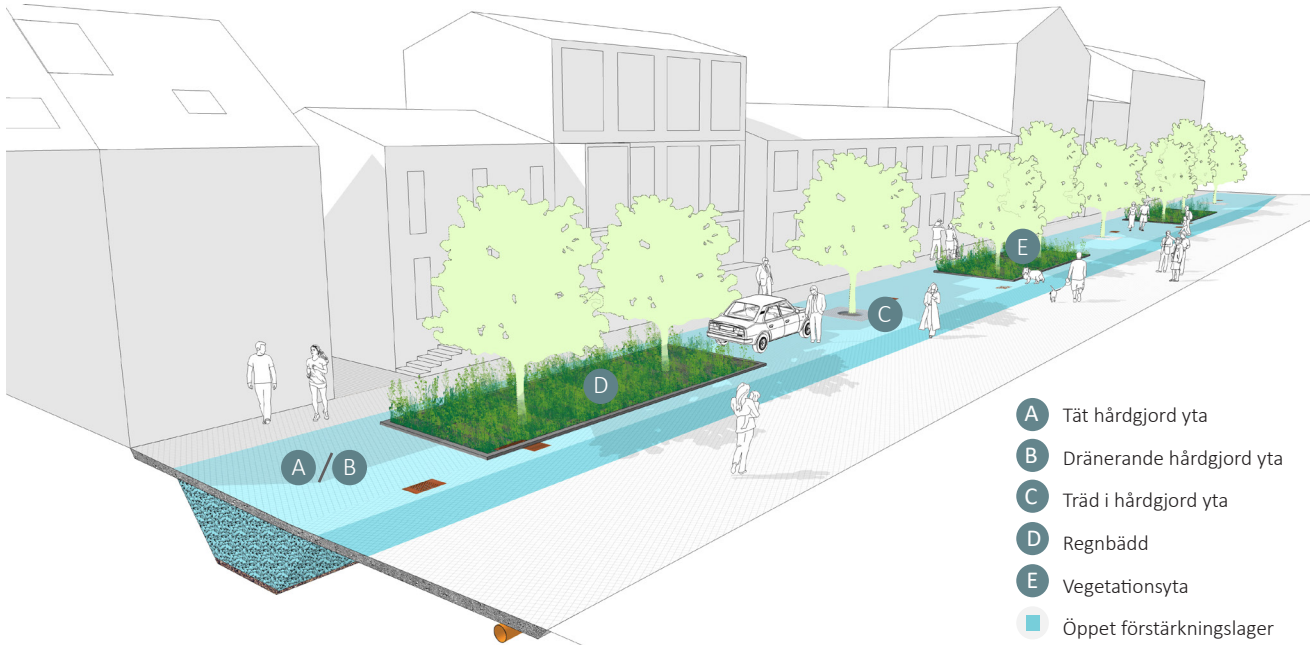
Hur ser risken för igensättning av det öppna förstärkningslagret ut? Utgår vi ifrån att ett BGG-system kan magasinera 1 m³ dagvatten per meter gaturum och att detta till hälften skall minska genom igensättning av sediment, kommer det att krävas en belastning motsvarande 0,5 m³/m gaturum. För en 100 m lång sträcka innebär det en sediment mängd på 50 m³. Enligt Stormtac är den suspenderade sedimentbelastningen (SS) 330kg/ha och år. Utgår man från att SS har en densitet på 1 kg/dm³ kommer det ta c.a 600 år innan systemet har belastats med 50m³. Om vi leder avrinningen från ett gaturum till en regnbädd och dimensionerar den så den kan omhänderta 80% av årsnederbörden och endast 20% avleds direkt till det öppna förstärkningslagret krävs det fem gånger så stor belastning. Alltså 250 m³ sediment/100m gaturum. Med stor sannolikhet fördelas inte sedimentet jämt i det öppna förstärkningslagret utan den blir nog mer avsättning där det leds in. Som en rekommendation bör man överväga om BGG-system är rätt system om det är väldigt mycket sediment.

Figur 14. Exempel på gata med BGG-system uppbyggt som enskilda konstruktioner. Här är partier med öppet förstärkningslager, de blå områdena, anlagda lokalt under olika konstruktioner i marknivå, såsom regnbädd, vegetationsyta och träd i hårdgjord yta. Vilka konstruktioner som anläggs är valfritt vilket gör utformningen av BGG-system flexibelt. Det öppna förstärkningslagret bidrar med gasutbyte och vattenförsörjning eller -magasinering i begränsad utsträckning.

Ståndortförbättrande kring befintliga träd med öppet förstärkningslager med biokol, Stockholm. Foto: Björn Embrém



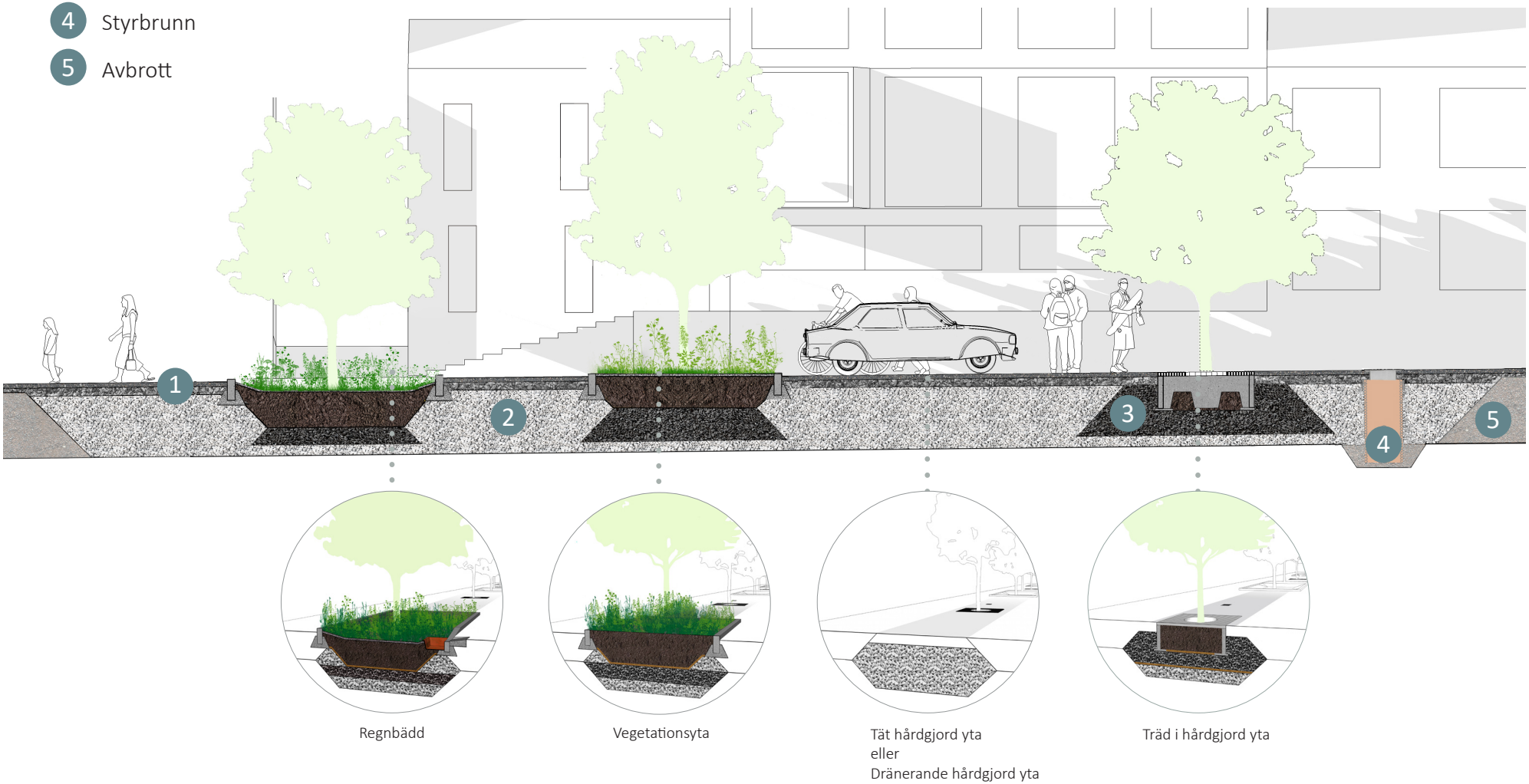
Är det mycket sediment, anlägg BGG-systemet med regnbäddar så belastningen av det öppna förstärkningslagret minimeras. Om inte regnbäddar önskas förse då styrbrunnar med någon form av brunnsfilter eller dagvattentunnel som kan rena dagvattnet från sediment innan det leds in i det öppna förstärkningslagret.



Figur 15. Exempel på gata med BGG-system förlagd i flexzon. Det blå området symboliserar ett öppet förstärkningslager som här ligger i ett stråk utmed hela gatan. På markytan kan hårdgjorda ytor varvas med regnbäddar, vegetationsytor och träd på valfritt sätt. Principen ger stora möjligheter till hantering av dagvatten samtidigt som stadsrummet kan utformas flexibelt och framtida ändringar av markkonstruktioner underlättas.

Högre krav

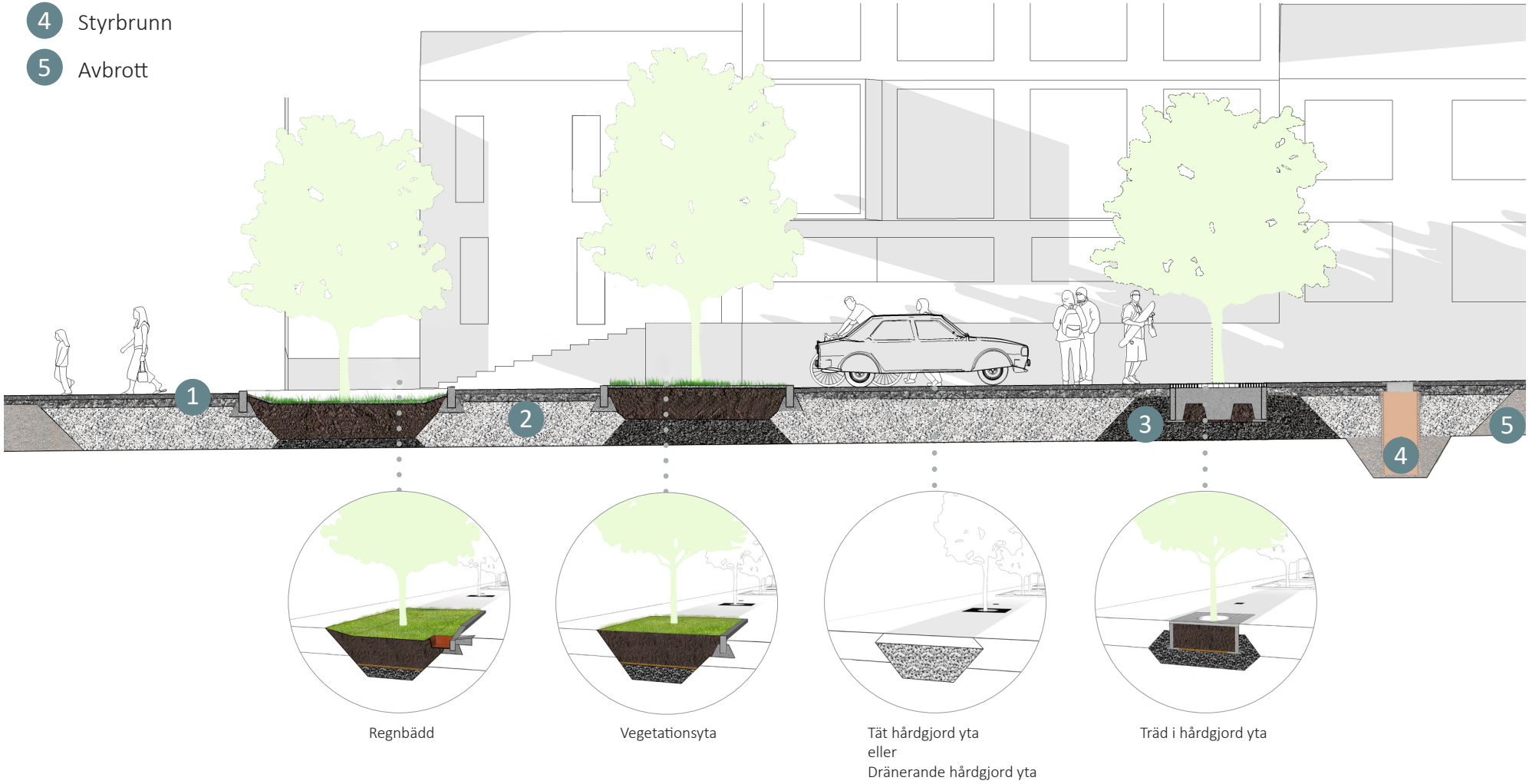
1. Tät eller dränerande bär- och slitlager
2. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan pimpsten användas
3. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan biokol eller pimpsten användas
4. Styrbrunn
5. Avbrott



Figur 16. Längdsnitt av en enhet med öppet förstärkningslager, högre krav. Avbrott som avgränsar enheten är placerade längst till höger och vänster i figuren. Under hårdgjord yta, regnbädd, vegetationsyta och träd i hårdgjord yta finns lager av öppet förstärkningslager med biokol och eventuellt kompost eller pimpsten.

Lägre krav

1. Tät eller dränerande bär- och slitlager
2. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan pimpsten användas
3. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan biokol eller pimpsten användas
4. Styrbrunn
5. Avbrott



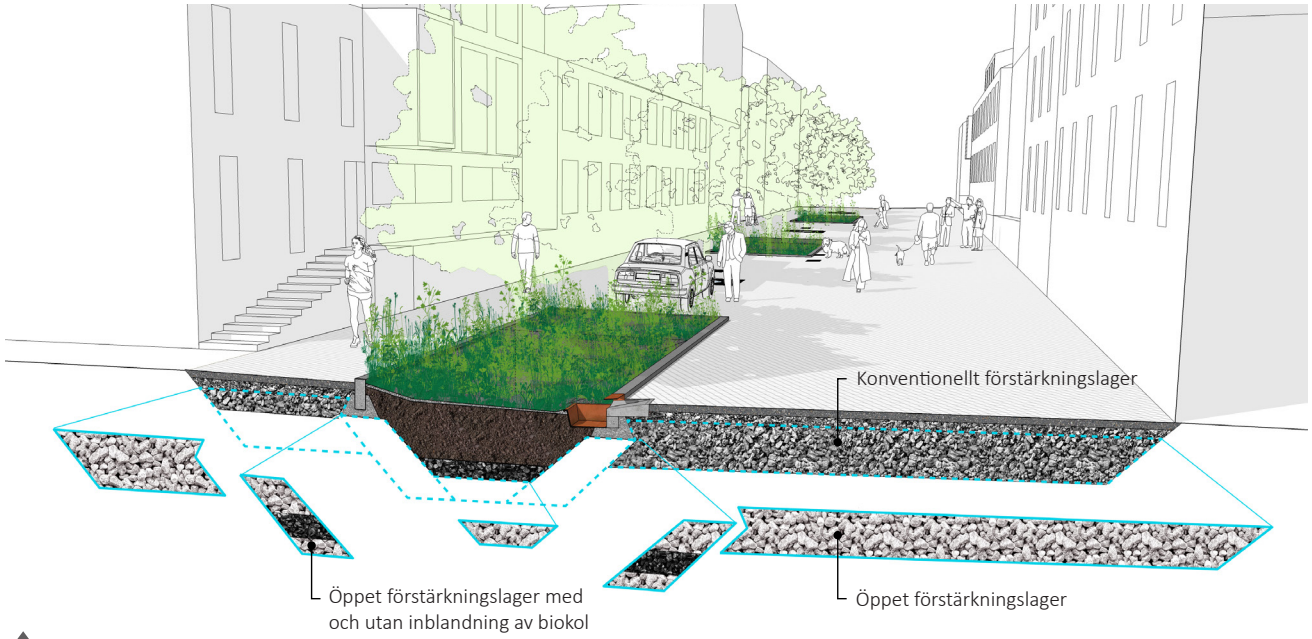
Figur 17. Längdsnitt av en enhet med öppet förstärkningslager, lägre krav. Avbrott som avgränsar enheten är placerade längst till höger och vänster i figuren. Under hårdgjord yta, regnbädd, vegetationsyta och träd i hårdgjord yta finns lager av öppet förstärkningslager med biokol och eventuellt kompost eller pimpsten.

6.2.1 Utbredning

Stråk med öppna förstärkningslager anläggs med fördel under flexzon (se figur 15) eller GC-yta och bör följa gatans längsriktning för att i minsta mån korsa ledningar. Genom att anlägga stråk under gatans flexzon ges frihet att anlägga olika typer av konstruktioner i marknivå, beroende på vad som lämpar sig på platsen. Till exempel kan längsgående parkeringsplatser varvas med träd i hårdgjord yta eller regnbäddar.

Det öppna förstärkningslagrets bredd och djup anpassas efter platsens behov av dagvattenfördröjning, växtbäddsvolym och tillgängligt utrymme. För att skapa större volymer för dagvattenhantering och växtbäddar kan öppet förstärkningslager anläggas under hela eller delar av GC-ytor eller körbanor för trafikklass 2 eller lägre. För olika alternativ se figur 18. Systemet är mycket flexibelt och kan lätt anpassas till olika utformningar av stadsrum. Exempelvis shared space eller innergård med en mosaikartad utformning, stadsrum där cykel och kollektivtrafik premieras eller framtida önskemål på utformning som skiljer sig från dagens.

Öppet förstärkningslager bör alltid anläggas under växtbäddar för att skapa goda växtförutsättningar och fungera som fördröjningsmagasin. Stråk med öppet förstärkningslager kan också sträcka sig under öppna ytor, exempelvis torg och parkeringsområden. I handboken benämns den här typen av utförande för konstruktion G, vidsträckt dränerande beläggning, illustration enligt figur 19. BGG-system kan även anläggas inom kvartersmark, för utformning och utbredning se avsnitt 6.10

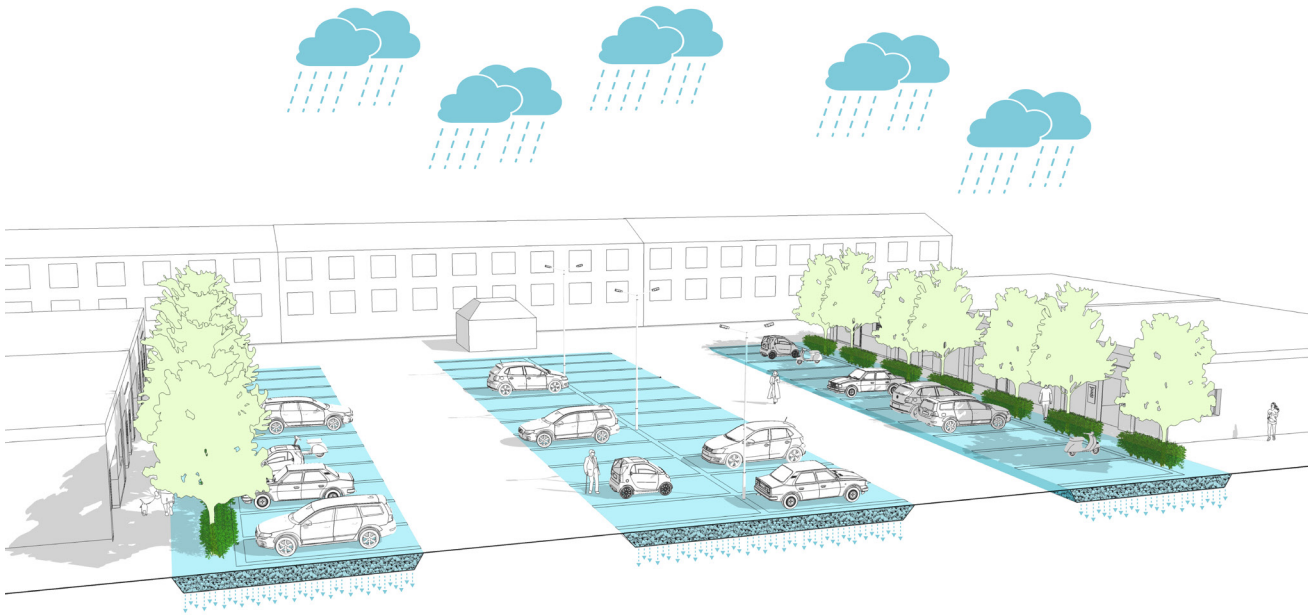


Figur 18. Öppet förstärkningslager kan breddas ut under GC-ytor och körbanor för att skapa större dagvattenhanterande volym och växtbädd. Genom möjligheten att välja förstärkningslagrets omfång och placering blir det enklare att kombinera BGG-systemet med övriga konstruktioner i marken, och på så sätt anpassa till framtida behov och önskningar kring utformning.

6.2.2 Öppet förstärkningslager i AMA

I AMA Anläggning delas olika arbetsmoment upp efter vilken funktion en yta eller anläggningsdel har. Eftersom flera funktioner samsas om samma volym i ett BGG-system krävs extra eftertanke då mängdförteckningen skrivs. Det öppna förstärkningslagret är till exempel både del av överbyggnad för hårdgjorda ytor, växtbäddar och dagvattenmagasin. I kommande AMA anläggning 23

Det öppna förstärkningslagrets bredd & djup anpassas efter platsens behov och tillgängligt utrymme.



Figur 19. Öppet förstärkningslager kan breddas ut under torg och parkeringsytor för att skapa större dagvattenhanterande volym och växtbädd. Genom möjligheten att välja förstärkningslagrets omfång och placering blir det enklare att kombinera BGG-systemet med övriga konstruktioner i marken.

planeras det att införas koder som passar bättre för BGG-system. Tills dess rekommenderar vi att detaljerat beskriva samtliga lager som bygger upp det öppna förstärkningslagret. För förslag på schakt och överbyggnadskoder för olika version av AMA, se bilaga 1. På detta sätt säkerställs att de krav som gäller terrassens egenskaper, överbyggnadsmaterial och packning stämmer överens med BGG-systemets behov.

För att det ska vara lämpligt att anlägga BGG-system bör materialet i undergrunden uppfylla de krav som ställs på terrassen enligt koden för jordschakt kategori B i AMA. Koder för öppet förstärkningslager har införts i AMA Anläggning 20, men där kallas det för dränerande förstärkningslager.

I samband med en utförandeentreprenad upprättas ofta handlingar som bygger på AMA Anläggning. Det brukar då även tas fram en AF-del. AF-delen är referensverket för entreprenadens administrativa krav. Vi rekommenderar att en hänvisning görs till Bilaga 1 och denna handbok i AF-delen för att ge entreprenören möjlighet att lättare sätta rätt pris på anläggningsarbetet.

6.2.3 Packning av öppet förstärkningslager

Packningsgraden är en förutsättning för att systemet ska klara framtida trafikbelastning och bärighet. Studier har visat att man inte alltid uppnår tillräcklig packningsgrad och bärighet för kategori B-ytor med rekommenderade överfarter enligt AMA och då både för konventionella förstärkningslager och öppna. Fuktigheten i materialet vid packning samt kornens form kan bidra till att det krävs fler överfarter än de av AMA föreskrivna. Därav rekommenderas det att utföra tester med statisk plattbelastning eller motsvarande att önskad packningsgrad är uppnådd. Öppna förstärkningslager anläggs normalt i lager om max 250 mm för att uppnå önskad packningsgrad. Varje lager packas noggrant innan nästa lager läggs ut. Vi rekommenderar att man helst utför statisk plattbelastningstest eller motsvarande för att säkerställa att önskad bärighetsnivå är uppnådd, se tabell 6 och foto s. 66. Detta resultatkrav är att föredra framför bara angivandet av en frekvens, alltså ett utförandekrav. Vid utförandekrav bör packning utföras genom minst 8 överfarter med vibroplatta över 400 kg.

För ytterligare information om packning av öppna förstärkningslager hänvisas till Svensk Markbetongs skrift, *Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning.*

6.2.4 Avbrott

För att inte dagvatten ska kunna rinna i längsled i stråket av öppet förstärkningslager och därmed enbart belasta den nedersta delen, kan stråket delas in i mindre enheter med hjälp av så kallade avbrott. Avbrotten kan bestå av överbyggnader med nollfraktion, tät duk eller dylikt som hindrar fortsatt horisontellt flöde. På detta sätt uppnås större fördröjningsvolym och bättre utnyttjande av dagvattnet. Avståndet mellan avbrotten i stråket med öppet förstärkningslager beror på gatans lutning och andra förutsättningar på platsen men är oftast mellan 20-40 m. Eftersom avbrotten är uppbyggda med konventionella markmaterial och packningsmetoder eller består av undergrund är de utmärkta platser för VA- eller andra ledningar att korsa BGG-systemet. För att läsa mer om ledningar se avsnitt 6.1.4, sid. 36.

Om enheterna ska seriekopplas kan det göras med hjälp av en styrbrunn. Vattnet passerar då avbrotten på ett kontrollerat sätt genom ledningar kopplade till styrbrunnen. Dämmen, med en höjd på ca 30 cm, kan användas mellan de större avbrotten. Detta för att skapa en zon i botten på det öppna förstärkningslager som inte kan tömmas till dagvattennätet, en så kallad artificiell grundvattenzon eller bevattningszon. Dämmen hjälper till att fördela vattnet över en större bottenyta. Läs mer i avsnitt 6.5.3, sid. 70.

6.2.5 Styrning av vattenflöde

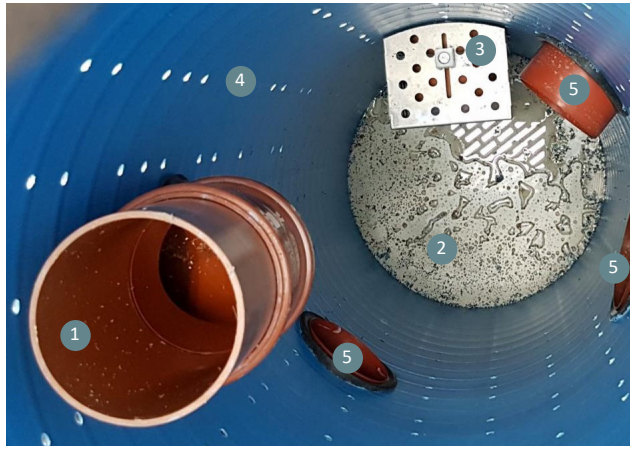
Dagvattnet avrinner till lågpunkter och längs låglinjer och leds därifrån ned till stråket av öppet förstärkningslager via regnbäddar, dränerande beläggning eller brunnar. Styrbrunnen placeras oftast vid den lägst liggande delen inom varje enhet (se figur 20-23) för att kunna leda vattnet till den aktuella enheten eller till det konventionella ledningsnätet beroende på inställning av flödesregulator och höjd på utgående ledning. Vattnet leds ut till det öppna förstärkningslagret genom perforeringar i brunnens sidor, från en dagvattentunnel eller via en spridledning.

Beroende på systemets syfte regleras utflödet olika. Om BGG-systemet främst är till för att hantera vatten vid extremregn, leds vatten i första hand till ledningsnätet och bräddar vid behov vidare till det öppna förstärkningslagret. Om det är ämnat att ta hand om dagvatten från dimensionerande regn leds det i första hand till det öppna förstärkningslagret och bara i mindre mängd till ledningsnätet. Varje brunn har då en bräddfunktion till det konventionella ledningsnätet som kan förhindra översvämning när BGG-systemet nått sin maximala fyllnadshöjd.

Flera enheter kan seriekopplas men hur detta kan utföras faller utanför ramen för den här handboken. Genom att seriekoppla flera enheter transporteras dagvattnet en längre sträcka i det öppna förstärkningslagret innan det släpps ut på ledningsnätet. Detta leder till längre uppehållstid i systemet vilket ger högre grad av rening och större tillgång på vatten för vegetationen. Systemet är flexibelt eftersom det går att reglera uppehållstiden i varje enhet individuellt. Regleringen justeras med flödesregulator i styrbrunnen. Deras inställning kan ändras när som helst vilket underlättar vid grävningar eller underhållsinsatser i BGG-systemet. Flödesregulatorn tas då bort och dagvattnet leds till ledningsnätet istället för in i det öppna förstärkningslagret.

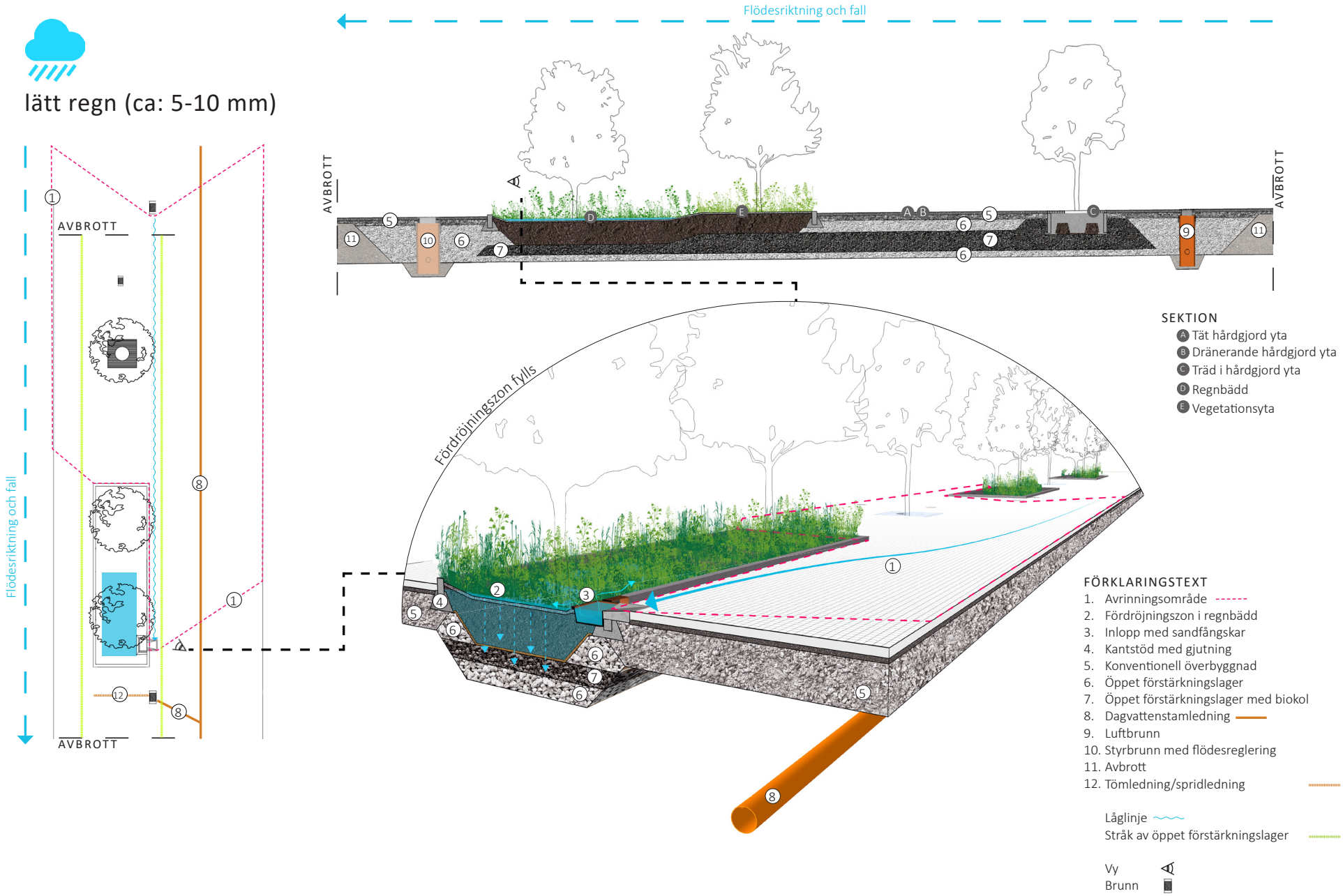
Enklare dagvatten- och luftbrunnar kan användas för att ta hand om vatten från till exempel GC-ytor. Dessa integreras i systemet genom att anslutas till styrbrunnar, spridledningar eller dagvattentunnlar. Läs mer om brunnar och andra komponenter som används i ett BGG-system under avsnitt 6.6, sid. 70.

För att se en film om flöden i BGG-system se https://bluegreengrey.edges.se

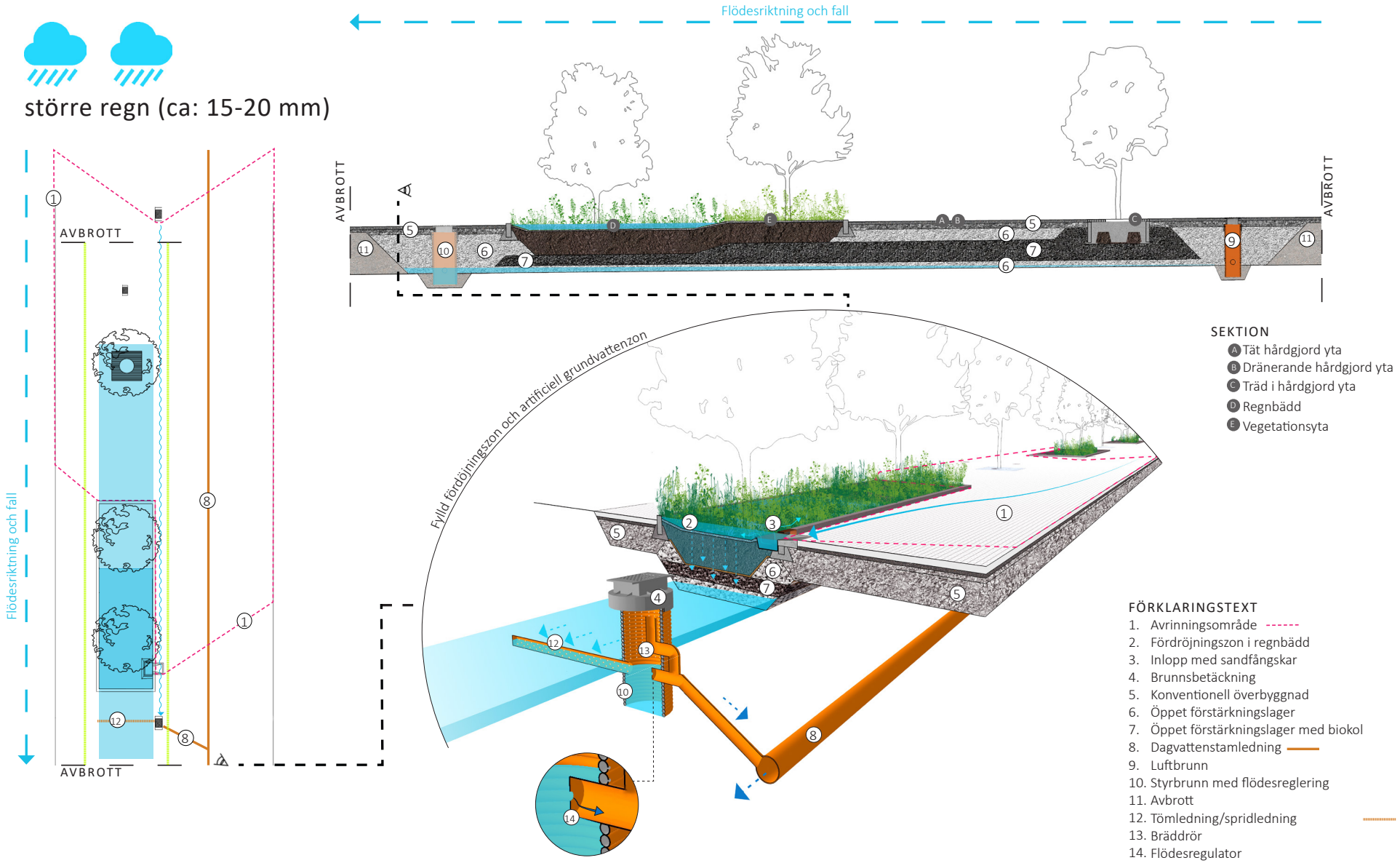


Styrbrunn sedd från ovan.

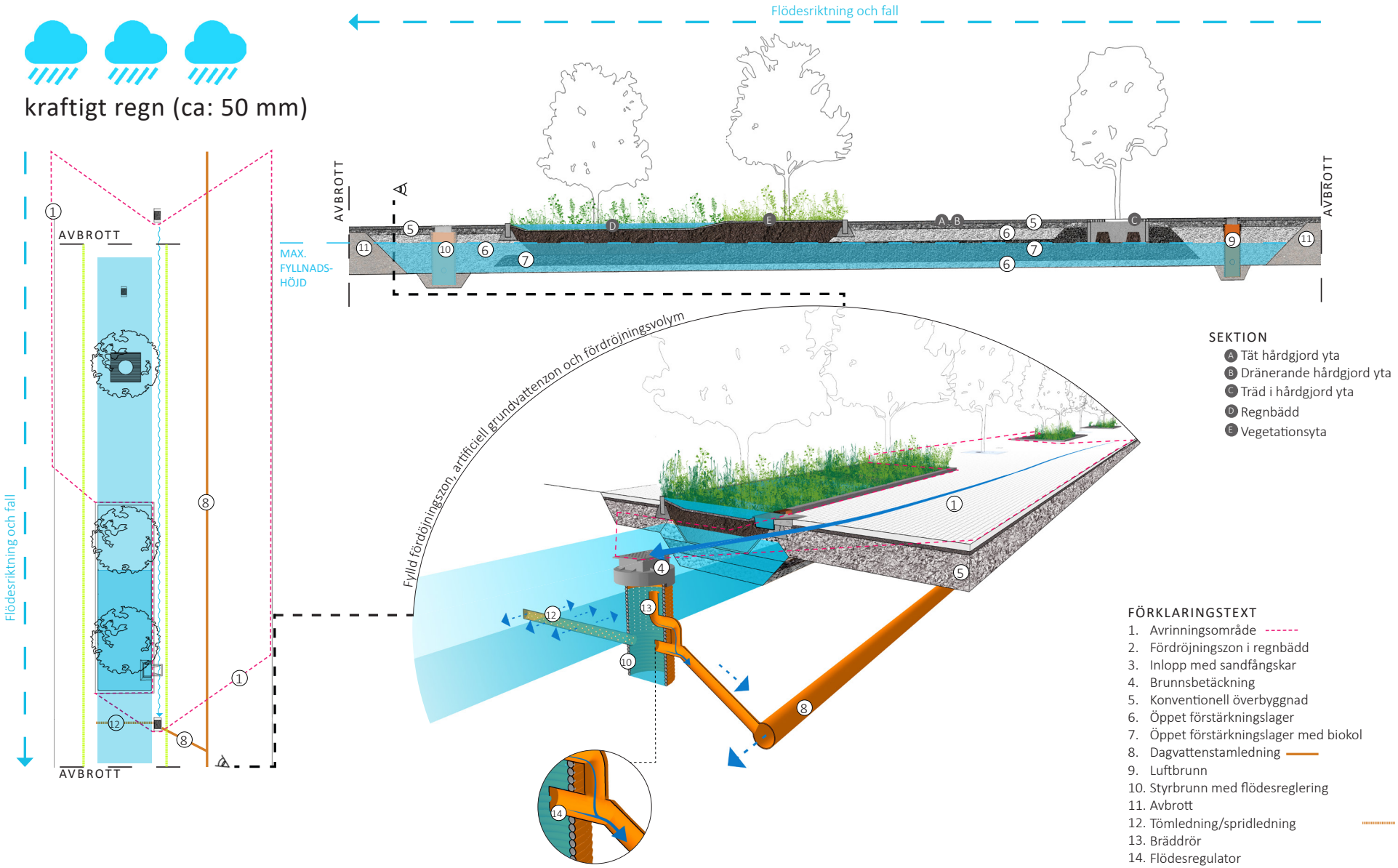
1. Bräddrör
2. Sandfång
3. Flödesregulator med skyddsbur
4. Perforering för perkolation
5. Sprid- töm- takvattenledningar



Figur 20. Illustrerar flödet vid ett mindre regn i ett BGG-system med olika konstruktioner. Vid ett mindre regn avrinner dagvattnet till regnbädden och infiltreras till det öppna förstärkningslagret. Planvy (till vänster), längdsnitt (överst), tredimensionell vy (nederst)

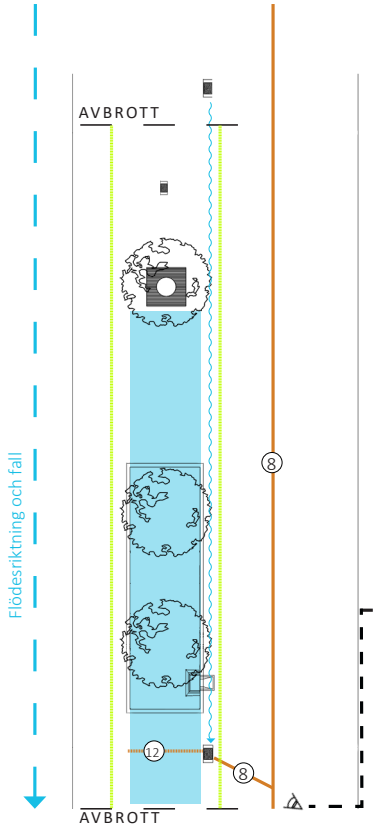


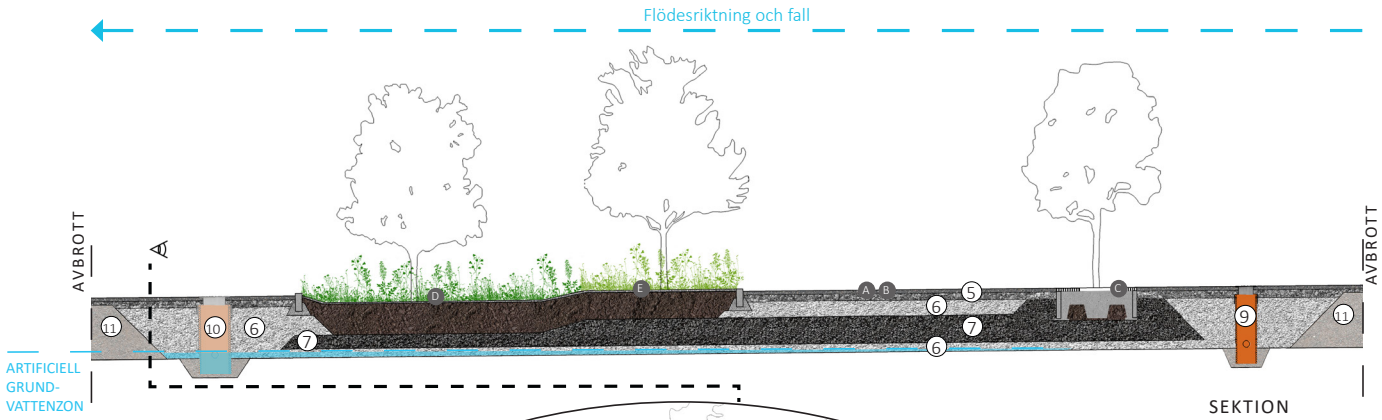
Figur 21. Illustrerar flödet vid ett större regn i ett BGG-system. Vid ett mer ihållande regn avrinner dagvattnet till regnbädden och fördröjningszonen fylls. Det infiltrerade dagvattnet börjar fylla upp bottnen på det öppna förstärkningslagret och ett flöde når styrbrunnen. Beroende på inställning av flödesregulatorn går flödet vidare till dagvattennätet i mindre eller större grad. Planvy (till vänster), längdsnitt (överst), tredimensionell vy (nederst)

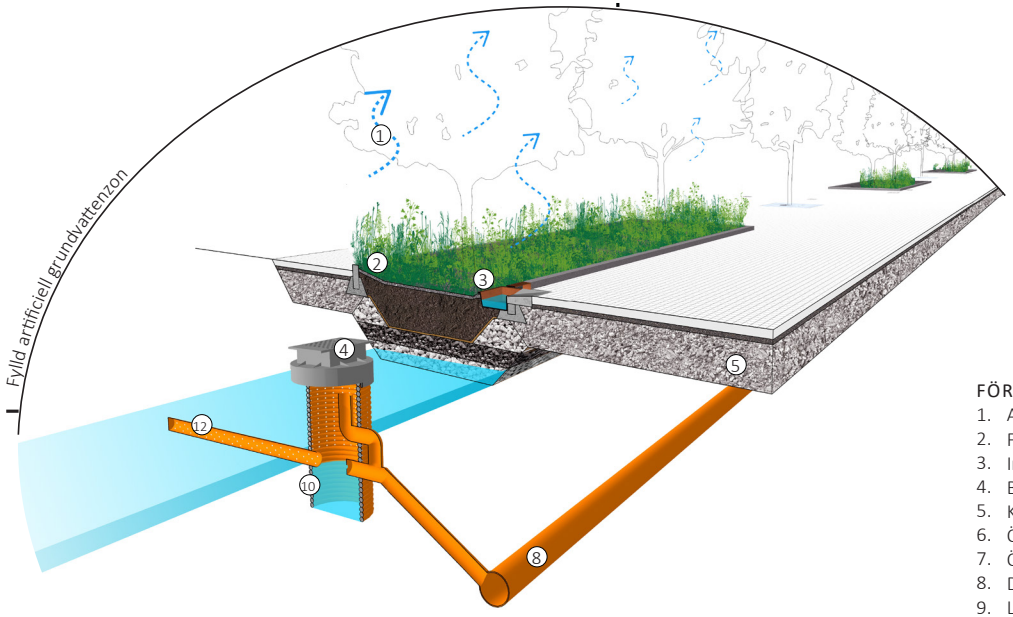


Figur 22. Illustrerar flödet vid ett kraftigt regn i ett BGG-system. Vid ett kraftigt regn som ger stora volymer dagvatten fylls fördröjningszonen i regnbädden fort. När den är fylld rinner dagvattnet vidare till styrbrunnen som leder ner dagvattnet i det öppna förstärkningslagret eller direkt vidare till dagvattennätet i mindre eller större grad. Planvy (till vänster), längdsnitt (överst), tredimensionell vy (nederst)

situation efter 24h







SEKTION

- A Tät hårdgjord yta
- B Dränerande hårdgjord yta
- C Träd i hårdgjord yta
- D Regnbädd
- E Vegetationsyta

FÖRKLARINGSTEXT

1. Avdunstning
2. Fördröjningszon i regnbädd
3. Inlopp med sandfångskar
4. Brunnsbetäckning
5. Konventionell överbyggnad
6. Öppet förstärkningslager
7. Öppet förstärkningslager med biokol
8. Dagvattenstamledning
9. Luftbrunn
10. Styrbrunn med flödesreglering
11. Avbrott
12. Tömledning/spridledning

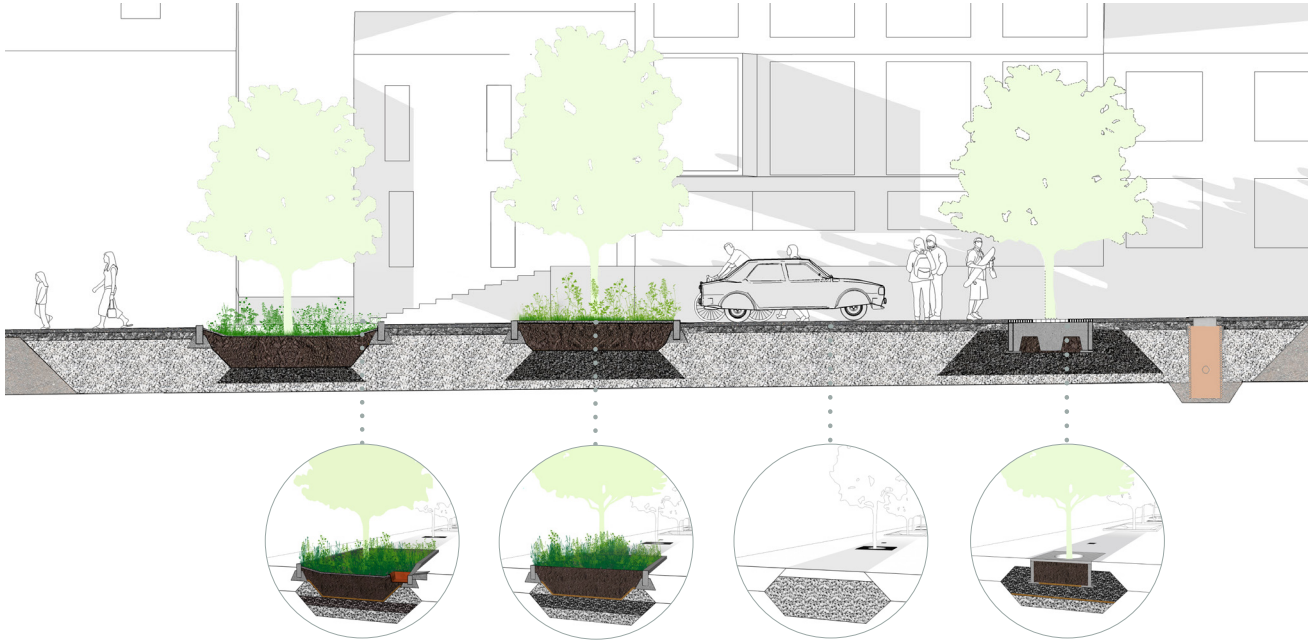
Låglinje
Stråk av öppet förstärkningslager

Vy
Brunn

Figur 23. Illustrerar situationen ett dygn efter att BGG-systemet har varit fyllt till max. Efter att systemet har varit fyllt till brädden ska det ta högst 24 h att tömma ut överskottsvattnet. Placeringen av vattengången styr hur mycket vatten som hålls kvar i botten på systemet. Detta vatten kan fungera som en artificiell grundvattenzon där vegetationen kan hämta vatten. Planvy (till vänster), längdsnitt (överst), tredimensionell vy (nederst)

6.3 Konstruktioner i marknivå

I den här handboken beskrivs sju konstruktioner som rekommenderas för anläggning på öppet förstärkningslager. Genom att använda lathunden (sid. 29) får man en fingervisning om vilka konstruktioner som är lämpliga för en viss plats. Konstruktionerna betecknas A-G både i lathunden och texten nedan.



D Regnbädd

E Vegetationsyta

A Tät hårdgjord yta

C Träd i hårdgjord yta

B Dränerande hårdgjord yta

Figur 24. Längdsnitt av en enhet med öppet förstärkningslager och olika konstruktioner i marknivå.

Exempel på utformning av flexzon med tät hårdgjord yta varvat med vegetationsytor Zürich, Schweiz

6.3.1 Tät hårdgjord yta (A)

Täta hårdgjorda ytor kan anläggas på öppet förstärkningslager för att skapa till exempel vägar, torg, parkeringar och GC-ytor. Dagvatten rinner av ytorna till låglinjer och lågpunkter där det leds via brunnar till det öppna förstärkningslagret.

Utformning och dimensionering av slit- och bärlager görs enligt konventionella metoder och ligger utanför ramen för den här handboken. Om de hårdgjorda ytorna kommer att belastas med tung och intensiv trafik är en rekommendation att komplettera överbyggnaden med ett bundet bärlager.

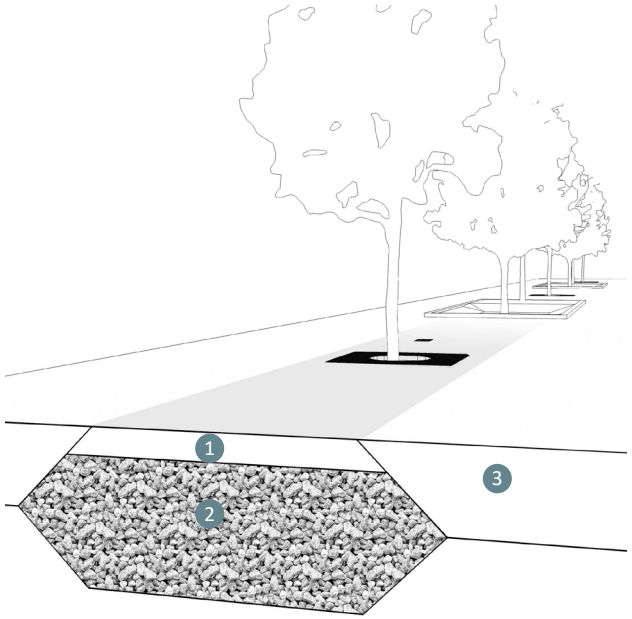
Dränerande hårdgjord yta, konstruktion B, på öppet förstärkningslager. Hela överbyggnaden under cykelparkeringen fungerar som växtbädd och dagvattenmagasin. Södervärn, Malmö

6.3.2 Dränerande hårdgjord yta (B)

Hårdgjorda ytor kan göras dränerande så att de släpper igenom nederbörd som leds vidare ner i överbyggnaden. Ytan kan utgöras av dränerande asfalt, marksten, natursten eller grus. Beroende på beläggning leds dagvattnet genom hela ytan eller genom fogar mellan täta stenar. Dränerande beläggning på öppen överbyggnad fördröjer och renar dagvattnet så fort det når marken. Beroende på typ av dränerande beläggning finns ett antal naturliga processer för vattenrening; filtrering, adsorption och biodegradering. Genom att ha genomsläppliga material i hela överbyggnaden skapas förutsättningar för dagvattnet att infiltrera ned till det öppna förstärkningslagret för ytterligare fördröjning och rening.

En dränerande beläggning leder ner dagvattnet genom en stor horisontell yta jämfört med när dagvatten ska fördelas ut i det öppna förstärkningslagret från en brunn genom en liten tvärsnittsyta. Det medför att under en dränerande hårdgjord yta blir inte varje punkt av det öppna förstärkningslagret särskilt hårt belastat. Flödeshastigheten i förstärkningslagret behöver därför inte vara så hög och ett material med lägre gräns för de minsta fraktionerna kan användas t.ex 4/90. Detta ger möjlighet att anlägga en yta som tål högre trafikbelastning än trafikklass 2. Läs mer om trafikbelastning, dimensionering och överbyggnad i Svensk Markbetongs handbok *Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning.* Där finner du även information om utformning och dimensionering av dränerande slit- och förstärkningslager som ligger utanför ramen för den här handboken.

Högre krav



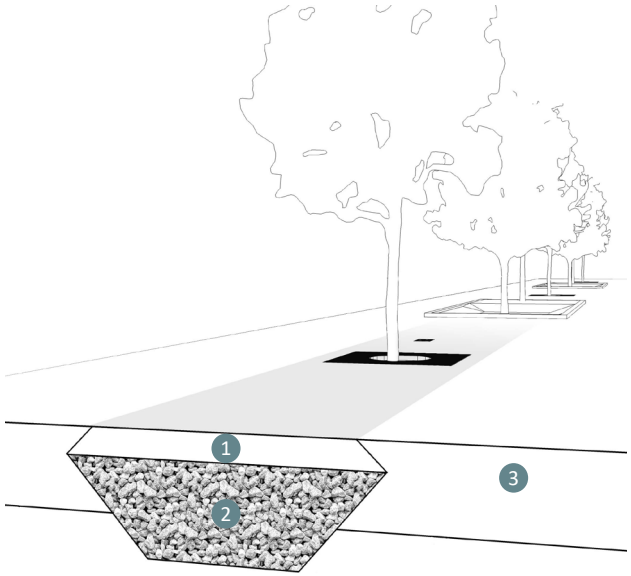
1 Dränerande eller tät beläggning och bärlager

2 Öppet förstärkningslager

3 Konventionell överbyggnad

Figur 25. Hårdgjord yta på öppet förstärkningslager med generellt högre krav. Ytans slitlager kan vara antingen tät eller dränerande.

Lägre krav



Figur 26. Hårdgjord yta på öppet förstärkningslager med generellt lägre krav. Ytans slitlager kan vara antingen tät eller dränerande.

Dränerande markstensbeläggning med gräs, konstruktion B. Århus, Danmark

Tät / dränerande hårdgjord yta av asfalt, konstruktion A/ B. Vid regn samlas vatten på den täta ytan, överst i bild, medan den dränerande ytan, nederst i bild, släpper igenom vatten.

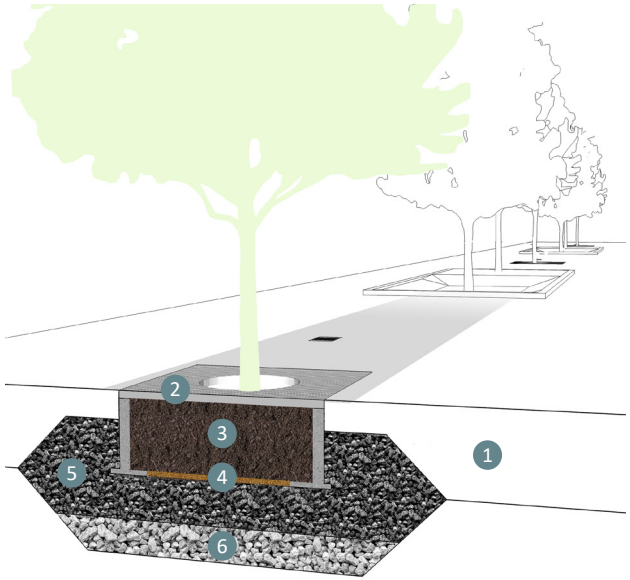
6.3.3 Träd i hårdgjord yta (C)

Denna typ av konstruktion lämpar sig där träd önskas men där det saknas plats för större plantering eller där kravet på hårdgöring är stort. Trädet planteras innanför ett trädgropsfundament som placerats i det öppna förstärkningslagret. Genom öppningar i fundamentets sidor kan trädets rötter växa ut och tillgodogöra sig en stor växtbäddsvolym med bra gasutbyte och vattentillgång. Detta bidrar till att trädet utvecklar ett finförgrenat rotsystem som går på djupet vilket lägger grunden för vital vegetation såväl som utökad vattenrening och mikroorganismer. Konstruktionens utformning säkerställer att rotsystemet inte går ytligt under beläggningen och spränger sönder den.

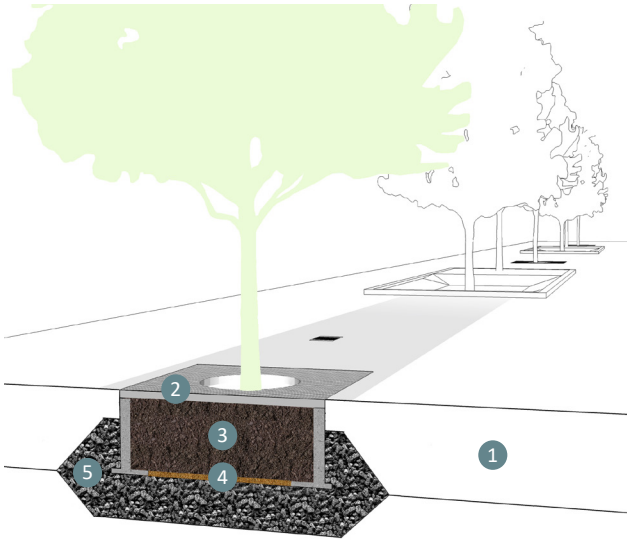
Innanför fundamentet omgärdas rotklumpen av växtsubstrat som har hög genomsläpplighet och näringsinnehåll enligt AMA. Under detta kan det öppna förstärkningslagret blandas med biokol, pimpsten och kompost. Blandningen av öppet förstärkningslager kan med fördel sträcka sig ut omkring trädet för att skapa en större volym med goda växtförutsättningar. Uppe på fundamentet kan ett markgaller placeras eller så kan växter planteras i växtsubstratet, beroende på platsens behov av hårdgöring. Växtsubstratets yta kan skyddas mot uttorkning med ett täcklager av makadam som ansluter till markgaller eller sprids ut omkring planterade växter.

För att säkerställa tillräckligt med gasutbyte i marken placeras brunnar med luftningsfunktion. I varje stråk ska det finnas två brunnar för gasutbyte så att en ventilationseffekt uppstår. Till detta kan luftbrunnar, luftdagvattenbrunnar samt styrbrunnar användas.

Högre krav



Lägre krav



1. Konventionell överbyggnad
2. Markgaller inklusive trädgropsfundament
3. Växtsubstrat
4. Kokosmatta med avjämningslager under
5. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan biokol eller pimpsten användas
6. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan pimpsten användas

Figur 27. Träd i hårdgjord yta på öppet förstärkningslager med generellt högre krav.

Figur 28. Träd i hårdgjord yta på öppet förstärkningslager med generellt lägre krav.

Fundament kan vara prefabricerade eller byggas upp med hjälp av granitkantstöd eller betongsyllar som en ram kring trädets rotklump. Speciallösningar, där flera sektioner byggs ihop, måste konstrueras så att de klarar en belastning på 20 kN/m^2 om de ska trafikeras med fordon.

En detaljerad anläggningsbeskrivning finns att läsa i *Utförandebeskrivning av Blågröngrå system (Bilaga 1).*

Träd i hårdgjord yta, konstruktion C. Under markstensytan och GC-ytan i trädraden finns öppet förstärkningslager med biokol och kompost. Dagvattnet leds via rännor till luftdagvattenbrunnar som leder ner vattnet till det öppna förstärkningslagret. Södra järnvägsgatan, Växjö
Foto: Örjan Stål

6.3.4 Regnbädd (D)

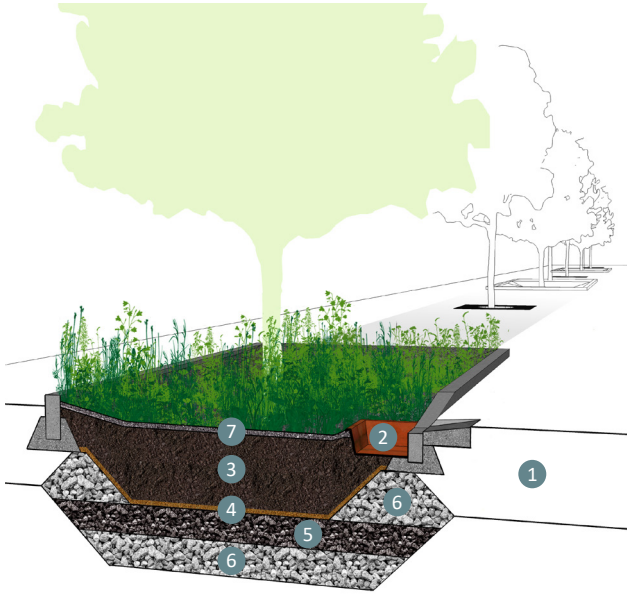
Regnbäddar är nyckelkonstruktioner i BGG-system eftersom de både fördröjer och renar dagvattnet samtidigt som de bidrar med ett grönt inslag i stadsrummet och därmed genererar många ekosystemtjänster. Det som är unikt för regnbäddar är att deras yta är skålformad. På så sätt skapas ett utrymme där dagvatten kan bli stående innan det sakta infiltrerar ned genom växtbädden. Detta utrymme kallas fördröjningszon eller ytligt magasin och är ofta 5-20 cm djupt. Om fördröjningszonen blir full kan dagvattnet bräddas till det öppna förstärkningslagret via en styrbrunn. På så sätt förhindras översvämning av stadsrummet.

Vattenrening i regnbäddar sker genom filtrering, biologisk nedbrytning och upptag i växter och på partiklar. Tungmetaller är ofta bundna till partiklar och filtreras därför redan i ytskiktet. Näringsämnen och organiska föroreningar adsorberas av partiklar i växtsubstratet samt av växter och bryts ned av mikroorganismer och växter. För mer information om rening, se avsnitt 6.7 sid. 72.

I regnbäddar används speciella växtsubstrat för att säkerställa genomsläpplighet och lågt näringsinnehåll. När vattnet infiltreras ned till det öppna förstärkningslagret finns risk att finmaterial från växtsubstratet dras med och orsakar igensättning. Detta minimeras genom att använda material med partiklar som låser mot varandra. Växtsubstratet separeras även från det öppna förstärkningslagret med hjälp av en avskiljande kokosmatta och ett avjämningslager.

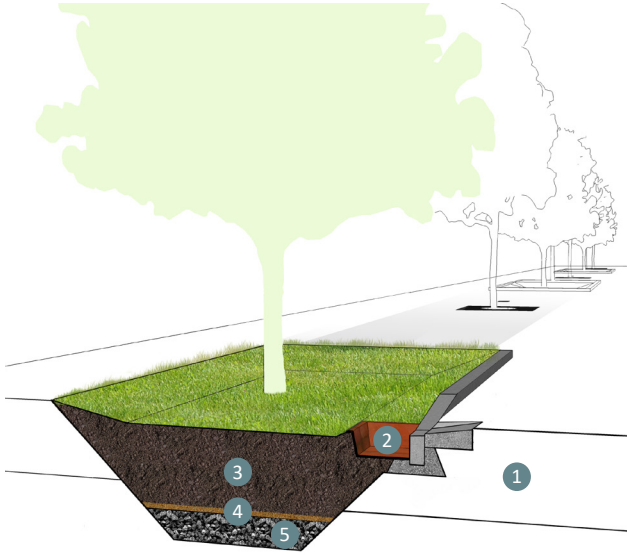
Regnbädden bör skyddas med ett täcklager av makadam, t.ex 8/11 på minst 50mm för att minska risken för erosion. Det minskar även avdunstning och ger växterna ett

Högre krav



Figur 29. Regnbädd på öppet förstärkningslager med generellt högre krav. Kan även utföras som gräsyta.

Lägre krav



Figur 30. Regnbädd på öppet förstärkningslager med generellt lägre krav. Kan även utföras som perenn- och buskplantering.

1. Konventionell överbyggnad
2. Inlopp med sandfångskar
3. Växtsubstrat
4. Kokosmatta med avjämningslager under
5. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan biokol eller pimpsten användas
6. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan pimpsten användas
7. Täcklager

försprång gentemot ogräs. Ska regnbäddens yta utföras med grässådd behövs inget täcklager.

Regnbädden kan även täckas av täta eller perforerade plåtar, vilket skapar en täckt regnbädd, se avsnitt 6.3.5. På så sätt bidrar regnbädden med fördröjning och filtrering av dagvatten men bidrar i mindre utsträckning till stadens grönska.

Ett mycket viktigt moment för att säkerställa regnbäddens och stadsrummets funktion är utformning av inloppet. Ett väl genomtänkt inlopp kan förhindra flera framtida problem, till exempel erosionsskador eller att snöröjningsredskap kör emot och orsakar skador. Men framförallt att dagvatten kommer in i regnbädden.

6.3.4.1 Inlopp

Det finns två generella utformningsprinciper för att leda in dagvatten till regnbädden; leda in på bred front eller koncentrerat inflöde. Att släppa in dagvattnet på bred front görs genom att förlägga regnbäddens ena långsida i nivå med en låglinje så att vatten kan rinna ohindrat in i bädden. Koncentrerat inflöde utgörs av en ledning eller öppning i upphöjt kantstöd som låter vattnet från gatan passera in i regnbädden vid en viss punkt. Båda lösningarna har för- och nackdelar som presenteras i större detalj nedan.

Inflöde på bred front gör att dagvattnet fördelas jämnt över regnbädden. Detta minskar risken för erosionsskador och igensättning av främmande material som hindrar tillströmningen. Nackdelen med detta sätt är att stora mängder sediment och halkbekämpningsmedel kan föras in i regnbädden vilket kräver manuella underhållsåtgärder för att avlägsna. Att sänka ner kantstödet ökar också risken för att fordon kör ner i regnbädden med skador som följd.

Vid koncentrerat inlopp är det viktigt att ta dagvattnets stora flödesenergi i beaktande eftersom denna kan resultera i erosionsskador i regnbädden. Det är inte ovanligt att flödet vid inloppet kommer upp i en intensitet på 10 – 20 l/s vid kraftiga regn. Genom att lägga grov makadam närmast inloppet eller bromsa upp vattnet i ett sandfångskar minskas flödesenergin. I ett sandfångskar fastnar även sand och sediment så att vattnet som når regnbädden blir renare. Detta förlänger tiden innan underhållsåtgärder behöver utföras.

Om flödeshastigheten på gatan är hög finns det risk att en stor del av vattnet rinner förbi inloppet. Inloppet bör därför vara minst 50 cm brett. Ytan utanför behöver ha en tydlig anvisning så att det kontrollerat styr in vattnet i kantstödsöppningen. Om inte detta är möjligt kan en brunn som ändrar vattnets flöde användas. Smalare inlopp innebär dock en risk för igensättning av till exempel löv och skräp. Inloppet får inte utformas med skarpa kanter eftersom dessa kan utgöra hinder vid snöröjning. Till höger redovisas två exempel på utformning av koncentrerade inlopp som är lämpliga.

En detaljerad anläggningsbeskrivning finns att läsa i *Utförandebeskrivning av Blågröngrå system (Bilaga 1).*

Inlopp med försänkt kantstöd. Strandbogatan, Uppsala
Foto: Rasmus Elleby

Inlopp, Amanuensgatan Rosendal, Uppsala

6.3.5 Täckt regnbädd

Om man är i behov av funktioner som fördröjning och rening i en växtbädd men inte önskar undervegetation och är i behov av att kunna trafikera ovan växtbädden, kan Täckt regnbädd vara ett alternativ. I den Täckta regnbädden utnyttjar man komponenter (markgaller och trädgropsfundament) och funktioner (gå och cykla ovan växtbädd, möblering) från konstruktionen Träd i hårdgjord yta och applicerar dem ihop med en regnbädd. Se figurer 31-32. Att använda betongfundament är ett effektivt sätt att hålla isär material och öka bärigheten på kringliggande hårdgjorda ytor men man ska beakta att det genererar ökade kostnader och insatser vid eventuella framtida schaktbehov och förändringar av konstruktionen.

En fördel med denna konstruktion är att man kan placera andra funktioner ovanpå regnbädden, exempelvis cykelställ, papperskorgar mm. Man kan även använda ytan som upplag vid snöröjning.

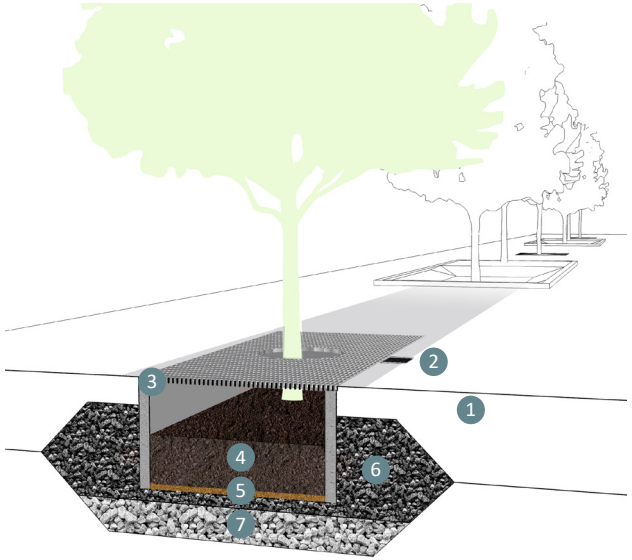
När undervegetationen tas bort från en regnbädd minskar tillförseln av organiskt material och tillväxt samt förmultning av döda rötter och därmed produktion av bioporer som är viktiga för infiltrationfunktionen. Hur detta kommer att påverka infiltrationfunktionen i växtsubstratet på sikt är oklart och behöver undersökas. För mer information och typritningar se Nacka kommuns Tekniska handbok.

Täckt regnbädd på öppet förstärkningslager. Nacka. Foto:Agata Wehlin.

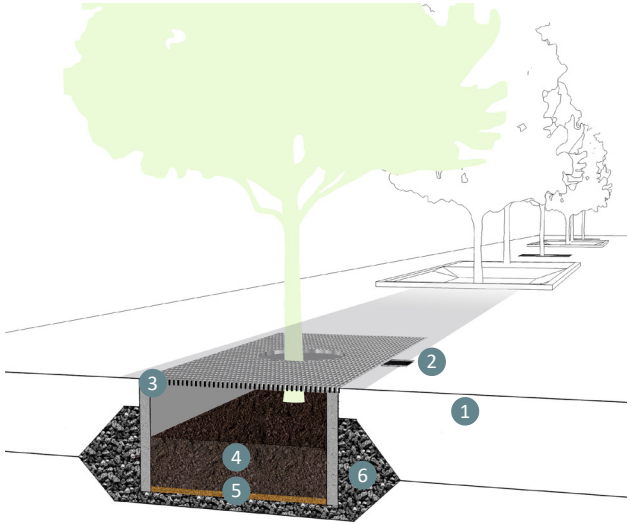
Trädgropsfundament för täckt regnbädd. Foto: Agata Wehlin

Täckt regnbädd under byggnation, Nacka. Foto: Agata Wehlin.

Högre krav



Lägre krav



1. Konventionell överbyggnad
2. Luftdagvattenbrunn
3. Markgaller inklusive trädgropsfundament
4. Växtsubstrat
5. Kokosmatta med avjämningslager under
6. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan biokol eller pimpsten användas
7. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan pimpsten användas

Figur 31. Täckt regnbädd på öppet förstärkningslager med generellt högre krav.

Figur 32. Täckt regnbädd på öppet förstärkningslager med generellt lägre krav.

Exempel på hur en Täckt regnbädd skulle kunna se ut i marknivå. Denna konstruktion saknar fördröjningszon. Norra Djurgårdsstaden, Stockholm

Vegetationsyta på öppet förstärkningslager. Graz, Österrike.

6.3.6 Vegetationsyta (E)

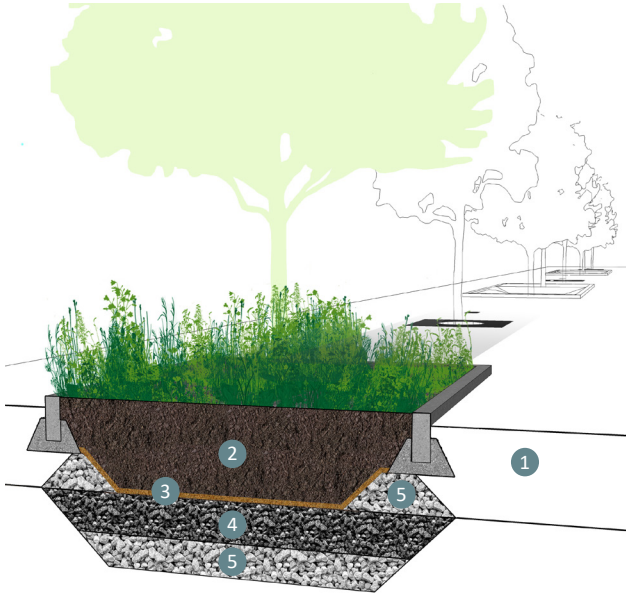
En vegetationsyta på öppet förstärkningslager kan vara ett grönt alternativ där behovet av dagvattenrening inte är så stort. Vatten leds istället till det öppna förstärkningslagret via brunnar för omhändertagande eller via dränerande beläggning. I vegetationsytor inom BGG-system används växtsubstrat direkt ovanför det öppna förstärkningslagret. Detta ger rötterna goda möjligheter att växa ut i förstärkningslagrets stora volymer av makadam och eventuellt biokol.

I en vegetationsyta nås vegetationen av vatten underifrån via det öppna förstärkningslagret och den nederbörd som faller direkt på ytan. Vid val av utformning och växtsubstrat bör det tas hänsyn till detta och dimensionera konstruktionen efter det.

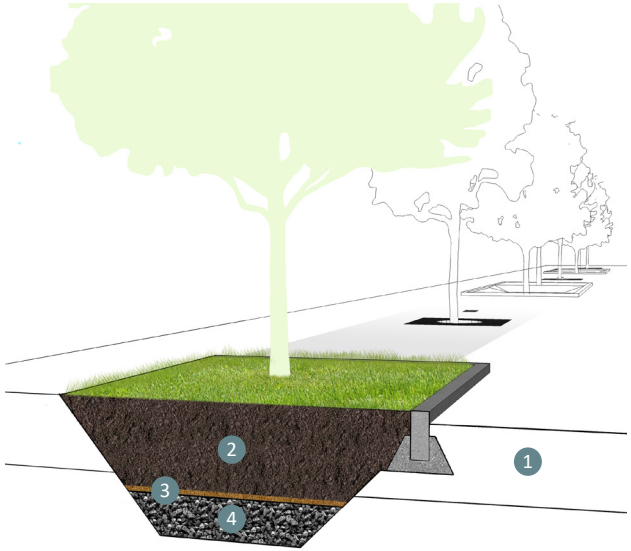
Förutom användandet av växtsubstrat skiljer sig en vegetationsyta i BGG-system väldigt lite från dess konventionella motsvarighet. Vegetationsytan kan anläggas med träd, buskar, perenner, prydnadsgräs, klippt gräsyta och lökväxter. En detaljerad anläggningsbeskrivning finns att läsa i *Utförandebeskrivning för BGG-system (Bilaga 1).*

Vegetationsytan kan skyddas med ett täcklager av t.ex makadam 8/11 på ca 50mm. Det förhindrar avdunstning och ger växterna ett försprång gentemot ogräs. Ska vegetationsytan utföras med grässådd behövs inget täcklager.

Högre krav



Lägre krav



1. Konventionell överbyggnad
2. Växtsubstrat
3. Kokosmatta med avjämningslager under
4. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan biokol eller pimpsten användas
5. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan pimpsten användas

Figur 33. Vegetationsyta på öppet förstärkningslager med generellt högre krav. Kan även utföras som gräsyta.

Figur 34. Vegetationsyta på öppet förstärkningslager med generellt lägre krav. Kan även utföras som perenn- och buskplantering.

Vegetationsyta, konstruktion E, på öppet förstärkningslager. Amanuensgatan, Rosendal, Uppsala

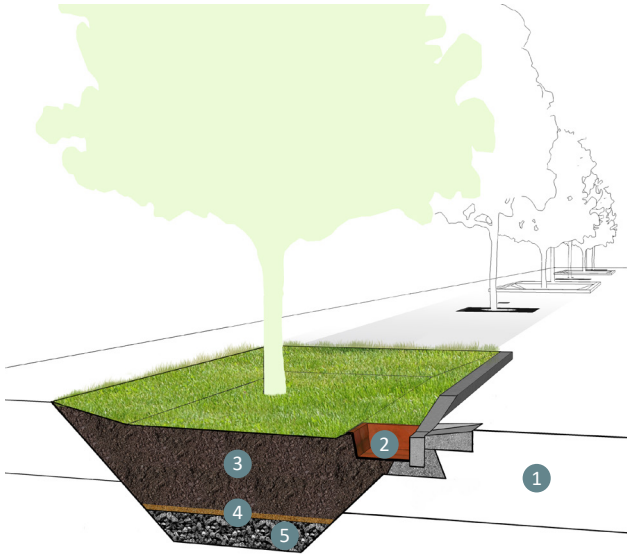
Figur 35. Illustration på svackdike med ängsvegetation. Baravägen, Lund

6.3.7 Svackdike (F)

Svackdike är en konstruktion i marknivå som är mycket lik regnbädden i sin utformning och uppbyggnad. Den stora skillnaden mellan de två konstruktionerna är hur dagvattnet på markytan töms. Målet med ett svackdike är oftast att samla ihop och avleda dagvattnet på markyta till en brunn. Tömningen av svackdiket sker då huvudsakligen från markytan och in i brunnen som leder ned det till det öppna förstärkningslagret. Dagvattenbrunnen har då ingen visning utan ligger i marknivå. För en regnbädd sker den huvudsakliga tömningen genom växtsubstrat ner till det öppna förstärkningslagret. Toppen på bräddningsbrunnen för regnbädd ligger härmed i överkant på det ytliga magasinet, alltså ca 50 – 200mm över botten på plantering. Det är skillnaden mellan svackdike och regnbädd i sin rena form. Flera olika utförande finns där det töms både mot en bräddningsbrunn och genom växtsubstratet. På samma sätt kan ett vegetationsstråk först vara ett svackdike som avleder dagvatten och i slutet går det över till en regnbädd.

Jämfört med en regnbädd är målet med svackdiket att avleda större flöden på markytan och större fokus bör därför läggas på erosionsskydd. Att anlägga klippta gräsytor eller ängar är fördelaktigt framför busk- och perennplanteringar för att minska risken för erosionsskador i svackdiken. För övrigt så är regnbäddar och svackdiken snarlikt uppbyggda i ett BGG-system så rekommendationer som gäller för regnbäddar gäller även svackdike.

Inlopp från GC-yta till svackdike. Baravägen, Lund



1. Konventionell överbyggnad
2. Inlopp med sandfångskar
3. Växtsubstrat
4. Kokosmatta med avjämningslager under
5. Öppet förstärkningslager, om växtförbättrande egenskaper önskas kan biokol eller pimpsten användas

Figur 36. Svackdike med öppet förstärkningslager.

Vidsträckt dränerande beläggning utan kantstöd och dagvattenbrunnar i bostadskvarter, Nederländerna.

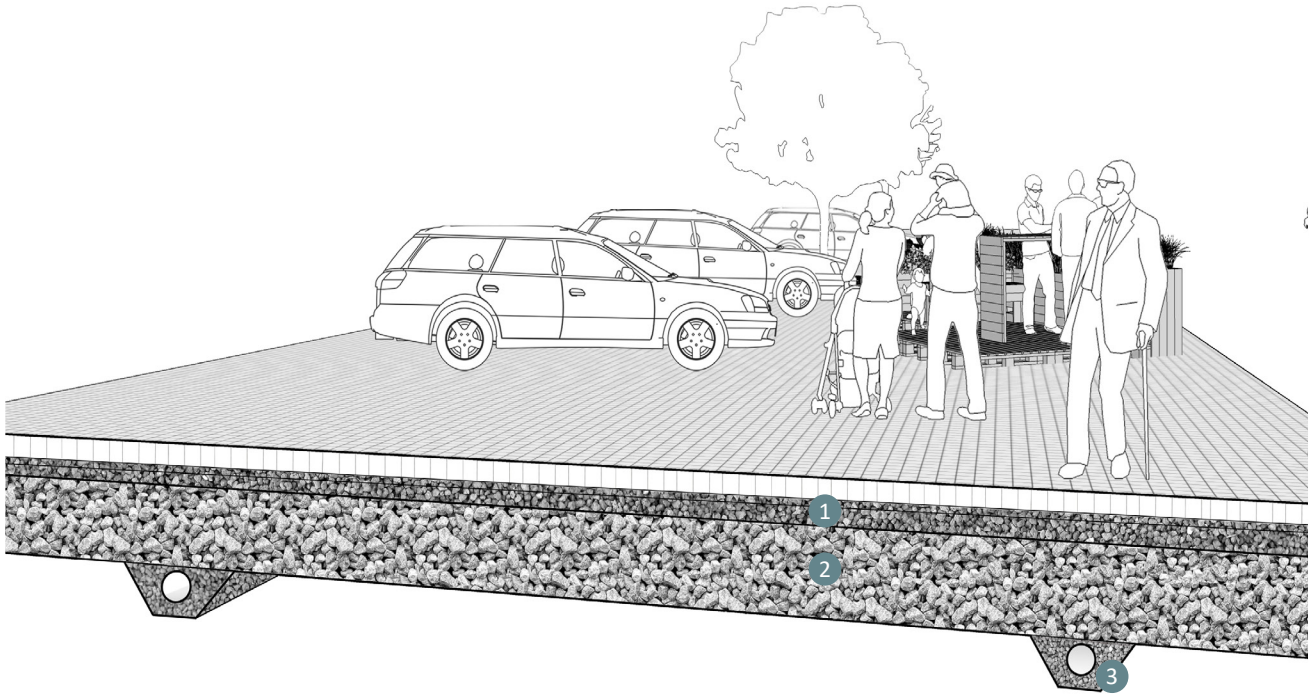
6.3.8 Vidsträckt dränerande beläggning (G)

Denna konstruktionstyp passar för torg och parkeringsytor där stora hårdgjorda ytor ska anläggas. Det konventionella förstärkningslagret byts här ut till ett öppet förstärkningslager. Det öppna förstärkningslagret görs 20% djupare än den konventionella överbyggnadstjockleken. Dränerande beläggning på öppen överbyggnad fördröjer och renar dagvattnet så fort det infiltreras in i överbyggnaden. Den kan utgöras av dränerande asfalt, marksten, natursten, grus med flera. Beroende på typ av dränerande beläggning finns ett antal naturliga processer för vattenrening; filtrering, adsorption och biodegradering. Genom att ha genomsläppliga material i hela överbyggnaden skapas förutsättningar för dagvattnet att infiltrera ned till det öppna förstärkningslagret för ytterligare fördröjning och rening.

Eftersom dagvattnet infiltreras över en stor yta och fyller det öppna förstärkningslager via ett vertikalt flöde (horisontellt flöde annars) kan ett öppet förstärkningslager med lägre fraktionsgräns nedåt användas. Exempelvis makadam 4/90. Detta ger möjlighet att anlägga en yta som tål högre trafikbelastning än trafikklass 2. Läs mer om trafikbelastning, dimensionering och överbyggnad i Svensk Markbetongs handbok *Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning, 2019.*

Anläggs dränerande beläggning underlättas höjdsättning av projektet då ytan kan vara helt plan och inte har behov ytlig avrinning. Därmed minskar behovet att anlägga kantstöd och dagvattenbrunnar.

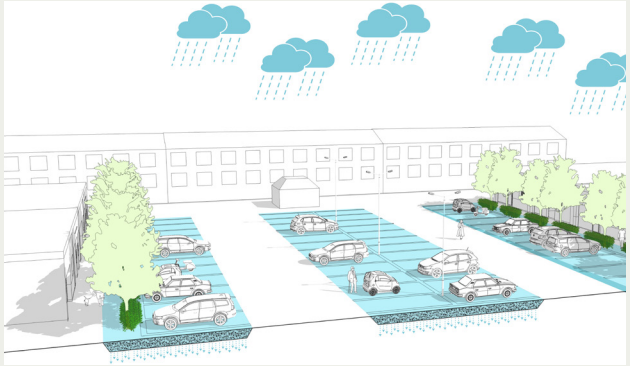
För fler exempel på vidsträckt dränerande beläggning, se sid. 126.



Figur 37. Vidsträckt dränerande beläggning. Det öppna förstärkningslagret blir olika djupt beroende på vilken trafikklass ytan dimensioneras för. Val av makadamfraktion för det öppna förstärkningslagret har större betydelse ju högre trafikklass som väljs.

1. Dränerande beläggning och bärlager
2. Öppet förstärkningslager
3. Dränering

Vidsträckt dränerande beläggning, konstruktion G. Ytan är helt i våg utan varken fall eller brunnar vilket inte behövs på denna konstruktion. På så vis kan lagerhyllor placeras helt fritt över hela ytan.
Jem & fix, Vara. Foto: Oscar Svensson.



Figur 38. Öppet förstärkningslager kan breddas ut under torg och parkeringsytor för att skapa större dagvattenhanterande volym och växtbädd. Genom möjligheten att välja förstärkningslagrets omfång och placering blir det enklare att kombinera BGG-systemet med övriga konstruktioner i marken.

Vegetationsytor kan anläggas vid sidan av den hårdgjorda ytan. Växterna kan då nyttja det öppna förstärkningslagret som en del av sin växtbädd.

6.4 Material

I detta kapitel berörs de olika materialen som används i BGG-system.

6.4.1 Makadam till öppet förstärkningslager

För att förstärkningslagret ska bli öppet och därmed tillgängligt för dagvatten och växtrötter byggs det upp av bergkross där de mindre fraktionerna sållats bort s.k. makadam. Ett förstärkningslager som består av makadam kallas i dessa sammanhang för öppet förstärkningslager. Exempel på lämpliga fraktionsgränser är 4/90, 22/90, 32/63 eller 32/90. Som öppet förstärkningsmaterial har tidigare materialet 16/90 angivits, vilket nu ändrats till 22/90. Det är fortfarande samma material som åsyftas, det är bara två olika sätt att ange ett material. Det som skiljer de båda är var gränsen för hur mycket underkorn som får finnas i materialet går. I forskningsprojektet användes gränsen 10% för max mängd underkorn och då fick materialet benämningen 16/90. I byggsektor är standarden enligt SS-EN 13242 att ange gränsen där det får finnas max 20% underkorn och därmed flyttas värdet från 16 till 22. Krosskärv 90/150 kan också användas vilket ligger utanför denna handbok och vi hänvisar till Stockholms stads trädhandbok för vidare läsning.

De mindre fraktionerna i samkross gör att bergkrosset får mycket små porer. Dessa små porer/hålrums storlek gör att dagvattnets flödeshastighet och gasutbyte blir så väldigt lågt att den kan bortses från. Om flödeshastigheten är för låg kan inte materialet användas för fördröjning eftersom vattnet inte kan tränga in i det tillräckligt snabbt. Genom att använda makadam som grundmaterial i det öppna förstärkningslagret kan man skapa en anläggning som har stora porer, hög

Som öppet förstärkningsmaterial har tidigare materialet 16/90 angivits, vilket nu ändrats till 22/90. Det är fortfarande samma material som åsyftas, det är bara två olika sätt att ange ett material.

flödeshastighet av vatten och gas och hög bärighet. I det öppna förstärkningslagret kan inte vatten transporteras upp via kapillärkrafter och därmed kan inga islinser bildas som skulle kunna skapa tjälskjutning och lyftning av marknivån. Likaså ska allt överskottsvatten vara borta inom 24 timmar efter ett regn har upphört.

Öppet förstärkningslager anläggs i flera lager med maximalt 250 mm tjocklek. Varje lager ska packas noggrant innan nästa läggs ut. Undermålig packning är en stor orsak till sättningar i hårdgjorda ytor. Beroende på vilka funktioner (bärighet, växtbädd och fördröjning) som är av största vikt i projektet, kan olika fraktionsspann användas. Exempelvis önskas bara funktionerna bärighet och fördröjning av dagvatten som inkommer vertikalt, kan makadam 4/90 användas. Under vegetationsytor där fördröjning och växtbädd prioriteras kan makadam 32/63

	Trafikklass ≤ 1a (inkl. flex-/möbleringszon)	Trafikklass ≥ 1b
Översta förstärkningslagret ca: 0-250mm	22/90, 4/90	4/90
Nästa förstärkningslager ca: 250-500mm	22/90, 32/90, 32/63, 4/90	4/90, 22/90
Resterande förstärkningslager 500mm djupare	32/63, 32/90, 22/90, 4/90	22/90, 4/90, 32/90*, 32/63*
*Under dimensionerande tjocklek på förstärkningslager för att uppnå trafikklassen		

Tabell 4. Förslag, i fallande ordning, på öppet förstärkningsmaterial till olika trafikklasser.

Prioriterad funktion med förslag på fraktionsspann (mm)			
Lager	Fördröjning/ bärighet Dränerande beläggning	Fördröjning/ bärighet/ växtbädd, Ej dränerande beläggning	Växtbädd/ fördröjning
Bärlager	4/32	0/32	(växtsubstrat)
Öppet förstärkningslager	4/90, 22/90	4/90, 22/90	32/63, 22/90, 32/90

Tabell 5. Exempel på lämpliga fraktionsgränser för BGG-system med olika huvudsyften. Alla fraktionsgränser anges i mm.

användas. För ytor där alla tre funktionerna prioriteras och önskas kan makadam 22/90 användas. En faktor som också påverkar valet av material är vilket fraktionsspann som nästkommande material består av. Detta för att förhindra partikelvandring och sättningar. Genom en stegvis ökande nedre fraktionsgräns blir övergången till avjämnande lager, undre växtsubstrat och öppet förstärkningslager liten och de mindre partiklarna klarar lättare av att brygga mot det grövre materialets större porer. I tabell 4 och 5 visas exempel på fraktionsgränser som kan används i BGG-system med olika huvudsyften.

I det öppna förstärkningslagret tillförs det ibland renings- och växtbäddsförbättrande material, se avsnitt 6.4.3.2. Typ av material och mängd styrs av målet med systemet avseende vegetation, rening och fördröjning. Avseende biokol och makadamens egenskaper och funktion som del av växtbädd se kapitel 6.4.3.1 Växtsubstrat. Hur öppet förstärkningslager 22/90 förhåller sig till Trafikverket krav på förstärkningslager med gränskurvor för materialsammansättning, kan utläsas i figur 39.

Referensvärden för obundna överbyggnadsmaterial				
	Förstärkningslager		Bärlager	Fog- och sättmaterial
Sortering	4/90(1)	22/90	4/32(2)	2/5
Referensvärde hydraulisk konduktivitet(3)	$1{,}0 \times 10^{-3}$ m/s		$1{,}0 \times 10^{-2}$ m/s	$1{,}0 \times 10^{-2}$ m/s
Tillgänglig porvolym(3)	> 25%	>35%	> 25%	> 35%
Max fillerhalt	3%		3%	3%
Max halt < 2mm	5%		5%	10%
Min halt < 4mm(9)	10%	-	10%	-
LA(4)	(7)		(7)	< 20(6)
M_{DE} (5)	(7)		(7)	< 15(6)
Bärighet vid plattbelastning Ev2(7), (8)	> 140 MPa			-

(1) Enligt SS-EN 13242 och AMA Anläggning 20 benämns sorteringen som 4/90 G_c 80-20.
(2) Enligt SS-EN 13242 och AMA Anläggning 20 benämns sorteringen som 4/32 G_c 80-20.
(3) Med referensvärden avses värden fastställa i projektet "Klimatsäkrade ytor för urbana miljöer." Dessa värden ligger till grund för framtagen dimensionering och bör eftersträvas i kommunala projekt.
(4) Motstånd mot fragmentering uppmätt med Los Angeles metoden enligt SS-EN 13242.
(5) Krav på nötningsegenskaper enligt SS- EN 13242 uppmätt med micro-Deval metoden.
(6) Rekommendationerna är en anpassning av Belgiska nationella krav [20], och kan frångås efter utredning.
(7) Värden enligt Trafikverkets krav [17], [46].
(8) Uppmärksamhet bör fästas vid att det oftast krävs fler överfarter än vad AMA anger för att säkerställa god komprimering.
(9) OBservera att av bärighetsskäl är mängden material mellan 2 och 4 mm viktig. Riktvärdet för passerande mängd vid 4 mm sikt bör vara minimum 10 procent.

Tabell 6. Referensvärden på obundna överbyggnadsmaterial. Svensk Markbetong.

Tillåtet antal standardaxlar	Trafikklass	Beskrivning
0	G	Entrégång, uteplats, lekytor, innergård utan trafik
0	GC	Gång- och cykelväg, enstaka lätta fordon, garageinfart
< 50 000	0	Lågtrafikerade ytor, som gång och cykelvägar eller parkeringsplatser. Ytorna kan även bära trafik från lättare varutransporter samt enstaka tunga fordon.
50 000- 250 000	1a	Brandväg, torgytor, gångfartsområde, gågator.
250 000 - 50 000	1b	Shared Space, mindre gator med inslag av tung trafik.
50 000 - 1 000 000	2	Gator, vägar.
1 000 000- 2 500 000	3	Gator, vägar.
2 500 000- 5 000 000	4	Gator, vägar.

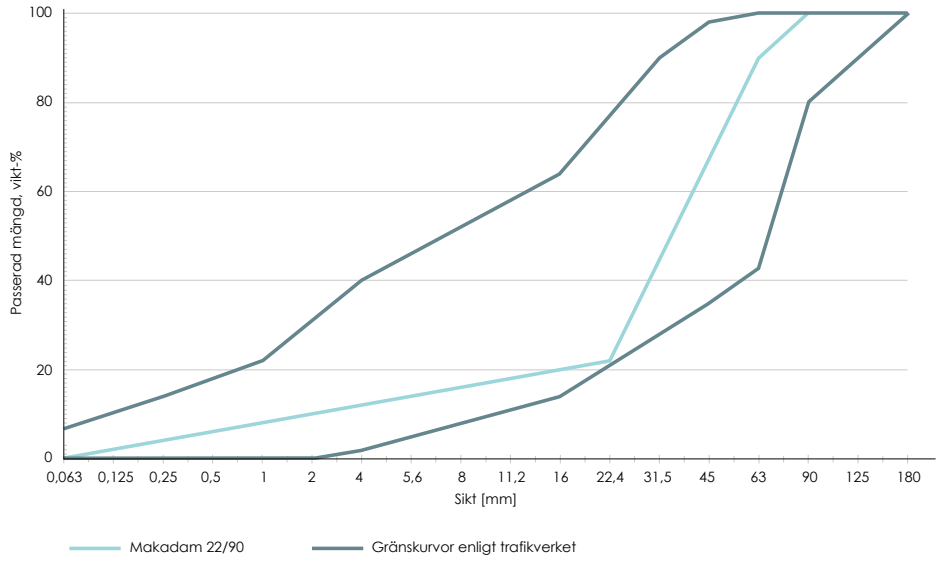
Tabell 7. Beskrivning av trafikklasser. Svensk Markbetong.

Klimatzon 1-5, krossat dränerande material i förstärkningslagret										
System	Obunden konstruktion		System I							
	Bunden konstruktion (drän./tät)		System II och III							
Trafik	Tillåtet antal standardaxlar		0	0	< 50 000	50 000 - 250 000	250 000 - 500 000	500 000 - 1 000 000	1 000 000 - 2 500 000	2 500 000 - 5 000 000
	Trafikklass		G	GC	0	1a	1b	2	3	4
Överbyggnad	Tjocklek (mm)									
	Marksten		50	60	80	80	80	80	80(1)	80(1)
	Sättlager (2/5)		30	30	30	30	30	30	30	30
	Obundet bärlager (4/32)(2)(3)		80	80	80	80	80	80	80	80
	Tjocklek på förstärkningslager (h) på terrass av materialrtyp:	1	0	0	0	88	88	125	238	313
		2	0	88	88	133	188	263	363	438
	System I, f-lager: 4/90	3	20	88	88	183	300	363	438	500
	System II/III. f-lager 4/90 alt. 16/90	4	45	88	88	200	338	413	513	588
		5	95	213	213	341	500	575	725	850

(1) Vid särskilda omständigheter rekommenderas 100 mm tjocklek.
(2) I System II ersätts obundet bärlager med dränerande bitumenbundet bärlager (typ ABO) och förstärkningslagrets tjocklek (h) kan då reduceras med 200 mm.
(3) I System III ersätts obundet bärlager med 55 mm bundet bärlager (typ Ag) och förstärkningslagrets tjocklek (h) kan då reduceras med 200 mm.

Tabell 8. Beräkning av förstärkningslagertjocklek (System I, II och III). Svensk Markbetong.

22/90 vs 0/90



Figur 39. Visar Trafikverket gränskurvor för ett förstärkningslager 0/90 och hur öppett förstärkningslager 22/90 förhåller sig till det.

Statisk plattbelastningstest utförs på öppen överbyggnad. Foto: Anders Friberg

6.4.2 Geotextil

Geotextil används för att stänga finmaterial ute från BGG-systemet eftersom det annars kan orsaka igensättning och försämrad funktion. Alla delar av systemet (ej växtsubstrat) som innehåller finmaterial, till exempel avbrott och kringfyllnad runt ledningar, ska vara täckta av geotextil. Beroende på uppbyggnad av omgivande mark kan även systemets botten och väggar behöva täckas.

Under dagvattentunnlar (läs mer i avsnitt 6.6.5) används en särskilt tålig geotextil som är vävd. Det är nödvändigt för att hålla för de krafter som uppstår då tunneln spolas ren från ansamlade sediment.

6.4.3 Växtbädd

Som växtbädd för vegetationen fungerar växtsubstratet och det öppna förstärkningslagret med biokol och i viss mån undergrunden/underbyggnaden samt kringliggande material.

6.4.3.1 Växtsubstrat

Växtsubstrat betecknar de material som används inom en växtbädd, ovan det öppna förstärkningslagret. Eftersom växtbäddar inom BGG-system är anlagda med genomsläpplighet och rening i åtanke är vanliga växtjordar ofta olämpliga. B-jord enligt AMA:s definition eller en jord med över 70% sand kan dock fungera i planteringar som inte har höga krav på infiltration och vattenhållande förmåga. I regnbäddar flödar dagvattnet genom växtsubstratet, ned till det öppna förstärkningslagret. För att minimera att växtsubstratet följer med vattenflödet bör det utgöras av partiklar vars form och storlek gör att de bryggar mot och låser varandra i övergången till grövre material som öppet förstärkningslager. Uppfylls kraven enligt tabell 9 på skillnader i textur mellan växtsubstrat och underliggande material uppnås s.k. bryggning mellan materialen.

Rekommenderade växtsubstrat som är baserade på finmakadam är mer tåliga mot tuff/ogynnsam behandling under anläggningsprocessen. Vanliga växtjordar riskerar att bli kompakterade om de utsätts för anläggningsmaskiner eller bearbetas om det inte är mycket torra, därför väljer vi att rekommendera växtsubstrat i stället. Ett växtsubstrat som är baserat på finmakadam, pimpsten, zeolit och eller sand och som innehåller en låg lerhalt samt normal till låg halt organiskt material, är mer motståndskraftigt mot skador från kompaktion, vägsalt eller blöta förhållanden. Alla dessa material har s.k. enkelkornsstruktur vilken är mindre känslig för belastning än aggregatstruktur som lerjordar har. För att minska resursförbrukning kan det vara önskvärt att återanvända material. Exempelvis kan återanvänd makadam användas i växtsubstratet. Innan återanvända produkter används bör man förvissa sig om att de inte finns kvar några skadliga nivåer av föroreningar.

För fortsatt läsning om växtsubstrat och flöden i substrat se *Komponent- och materiallista för BGG-system (Bilaga 1).*

***Moviums faktablad nr 2 - 2015* om regnbäddar beskriver principerna för avvattning och växtsubstrat i större detalj.**

***Växtbäddar och avvattningslösningar för sportgräsytor* beskriver avvattning av växtbäddar och hur det påverkar markuppbyggnaden**

Egenskaper	Rekommendation
Bryggningsfaktor	D^{15} (underliggande material) mindre än eller lika med 5 X D^{85} (växtsubstrat)
Permeabilitetsfaktor	D^{15} (underliggande material) större än eller lika med 5 X D^{15} (växtsubstrat)

Tabell 9.
Rekommendationer underliggande materials textur och förhållande till ovanliggande material (växtsubstrat).

För mer information om biokol och biokolscertifiering se https://biokol.org/ och https://european-biochar.org/en

I vänstra handen finns biokol som genomgått pyrolys. I högra handen finns råvaran, i detta fall pellets av organiskt restmaterial.

6.4.3.2 Biokol och andra substratförbättrande material i BGG-system

För att förbättra det öppna förstärkningslagrets och växtsubstratens funktion som växtbädd och reningsanläggning kan biokol, pimpsten, zeolit och kompost blandas in. Biokolets och kompostens förmåga att binda näring används i BGG-system för att rena dagvattnet. Mängden näring som förs med dagvattnet till bäddarna gör att det ständigt kommer tillskott som fångas upp och kommer vegetationen till godo. I planteringar som inte tillförs dagvatten i samma utsträckning som i BGG-system kan näringsbrist uppstå. I dessa växtbäddar kan biokol användas som i förväg berikats med näring. För mer djupgående resonemang kring växtsubstratets betydelse och funktion för rening se avsnitt 6.7.

Genom att använda ett växtsubstrat med biokol, kompost och pimpsten kvarhålls en större mängd vatten och blir tillgängligt för växter och mikroorganismer. Genom att biokol och pimpsten är poröst har de större porvolym som kan kvarhålla stora mängder vatten per volym men samtidigt sörja för en hög genomsläpplighet. Biokol framställs av organiska restprodukter som genomgår pyrolys, det vill säga syrefri upphettning, omvandlas till en kolmaterial med aska. Processen sker under höga temperaturer (600-900 grader) vilket gör att föroreningar som tungmetaller och PAH:er förgasas. Biokolet får en porös struktur som gör att det binder vatten, näring och föroreningar vilket gynnar både växter och mikroorganismer. Det fungerar även som långvarig kolsänka eftersom det har mycket lång nedbrytningstid, vanligtvis en halveringstid på mellan 500-1000 år.

Hur pyrolysprocessen har sett ut och vilket råmaterial som använts påverkar i stor grad vilka egenskaper biokolet kommer att ha avseende, materialstorlek, näringsinnehåll, pH, struktur, nedbrytningshastighet, mängd och storlek på porer, föroreningshalt och vattenhållande förmåga mm. I dagsläget finns det inte speciellt framtagen biokol med egenskaper som är optimerade för BGG-system. Vinnova-projektet Rest till Bäst arbetar med att försöka få fram mer kunskap och rekommendationer kring detta. Under tiden rekommenderas att använda certifierat biokol för att säkerställa önskad kvalitet och att det producerats med lämpliga material och metoder. *European Biochar Certificat* (EBC) arbetar med att ta fram ett certifieringssystem där biokol delas in i kategorier beroende på användning. För val av biokol till ett projekt se deras hemsida. I dagsläget rekommenderas klass EBC-Agro för BGG-system men nya klasser är under framtagande som är mer anpassade för växtbäddar i urbana situationer

Biokolets förmåga att binda föroreningar avtar med tiden. Å andra sidan bidrar vegetationen som gynnats av biokolet till förbättrad rening. Likaså tillförs konstant nytt material i form av finsediment och humus där föroreningar kan bindas fast. Det krävs mer forskning för att avgöra hur dessa processer fungerar och hur snabbt de sker. I nya BGG-anläggningar finns risk att biokolen, liksom andra finpartiklar som kan blandas in såsom kompost, pimpsten m.fl, följer med dagvattnet och därmed belastar recipienten med näringsämnen. När systemet har mognat, det vill säga när trädrötter och mikroliv har utvecklats, minskar denna risk. För att minimera denna olägenhet kan filter som fångar upp små partiklar installeras i en brunn eller att våtmark och damm innan recipienten anpassas för omhändertagande av detta.

6.5 Avvattningsprinciper

Det finns två huvudprinciper för avvattning av BGG-system; perkolation genom terrassen och avledning via styrbrunn till dagvattennät. Beroende på nivån på vattengångens läge kan en kombination av principerna skapas. Vilken variant som väljs beror bland annat på terrassens infiltrationskapacitet, vegetationens behov och krav på att skydda terrassen och undergrund.

6.5.1 Perkolation till undergrund

Om dagvattnet är förhållandevis rent, undergrunden fri från föroreningar och bestående av material som tillåter perkolation kan man lämna terrassen oskyddad under det öppna förstärkningslagret. Detta gör att dagvattnet sipprar ner och fyller på grundvattnet. Terrassens perkolationshastighet är avgörande för hur snabbt det öppna förstärkningslagret töms. Alltför hög perkolationshastighet är inte att rekommendera för det minskar den bevattnande effekten på växtbäddar som kan torka ut alltför fort. När tömningskapaciteten via perkolation till undergrund beräknas ska det beaktas att terrassbotten med tiden kan täppas till med sediment. Samma förhållningssätt gäller som för andra perkolationsmagasin.

Om det finns behov av att skydda grundvattnet kan systemets botten och sidor tätas med geomembran. Då avleds dagvattnet enbart genom avledning till styrbrunnar.

För att se en film om avvattningsprinciper i BGG-system se https://bluegreengrey.edges.se

Figur 40. Utsnitt från film om avvattningsprinciper i BGG-system. BGG-system möjliggör att stora mängder dagvatten kan infiltreras och perkoleras ner och fylla på grundvattnet

6.5.2 Avvattning till dagvattennät

Avvattning till dagvattennät av ett öppet förstärkningslager görs enligt konventionella principer med dränledning (tömledning) eller dagvattentunnel kopplad till en brunn eller via perkolationshål i styrbrunnens sidor. I ett BGG-system finns möjlighet att använda styrbrunnar och flödesregulatorer för att anpassa avtappningen för systemets ändamål. Läs mer om detta under avsnitt 6.2.5 Styrning av vattenflöde samt se figur 20-23.

6.5.3 Bevattningszon

En bevattningszon kan skapas genom att sätta utloppsnivån i systemet några decimeter ovanför det öppna förstärkningslagrets botten. På så sätt blir vatten stående på botten en längre tid och försörjer växtbädden med vatten. Vattnet i en bevattningszon kan också bidra till en bättre fuktning av hela systemets och därmed gynna vegetationen. För att maximera denna effekt kan flera dämmen anläggas i bevattningszonen. Dämmena förhindrar vattnet från att rinna till systemets lågpunkt så att det blir stående under en större del av systemets bottenyta. De kan byggas upp på samma sätt som de avbrott som delar in sammanhängande stråk av öppet förstärkningslager i enheter men behöver inte vara lika höga. Läs mer om avbrott i avsnitt 6.2.4 ovan.

I en sådan zon kan syrefria förhållanden uppstå efter en längre tid. I sådan miljö gynnas mikrober som kan rena dagvattnet genom att omvandla komplexa organiska föroreningar till enklare, mindre skadliga föreningar.

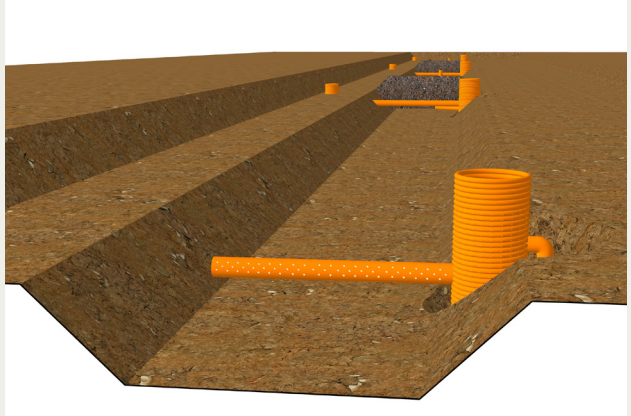
6.6 Komponenter i BGG-system

Utvecklingen går snabbt och vi får hela tiden erfarenhetsåterkoppling från anläggningar som byggs och är i drift. För senaste förteckning över komponenter, se Bilaga 1.

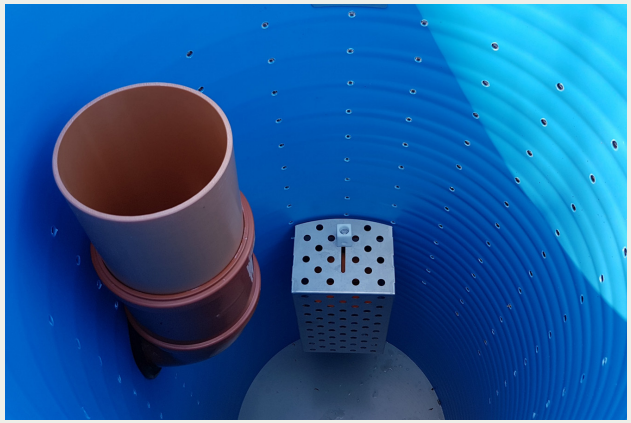
6.6.1 Styrbrunn

Styrbrunnen reglerar och fördelar vatten inom det öppna förstärkningslagret och till dagvattennätet på ett kontrollerat sätt. Vattnet flödar in och ut ur brunnen genom betäckning, ledningar eller perforering i brunnens vägg. Brunnar kan även ta emot vatten från närliggande tak eller spygatt. Styrning av utflödet till dagvattennätet görs med hjälp av en flödesregulator. Hur mycket vatten de släpper igenom kan när som helst justeras genom att byta ut en så kallad regulatorspade. Detta gör kontrollen av vattenflödet enkel och underlättar vid till exempel underhållsarbeten och grävningar inom systemet.

I stråk av öppet förstärkningslager kan styrbrunnen placeras i stort sett var som helst utmed stråkets längd inom en enhet. Placeras styrbrunnen vid den lägst liggande delen inom enhet fylls systemet mot gatanslutning medan man utnyttjar gravitationen för att tömma förstärkningslagret. Vill man utnyttja gravitationen både vid fyllning och tömning placeras brunnen i den högsta delen av enheten. Placeras den i den övre delen kan den användas för att styra tömningen av det ovanliggande enheten och på detta sätt kan magasinen seriekopplas. För att undvika skador och överbelastning av systemet finns en bräddledning som leder dagvattnet förbi flödesregulatorn och går ohindrat till dagvattennätet.



Figur 41. Visar styrbrunn och töm-/ spridledning, innan man fyllt upp med öppet förstärkningslager.



Insidan av styrbrunn. Brunnens väggar är perforerade för att vatten och luft ska kunna passera. I mitten av bilden syns skyddsburen som skyddar flödesregulatorn. Till vänster syns en orange bräddledning

Dagvattentunnlar under anläggningsskedet som ansluts till styrbrunnen. Den vävda geotextilen hindrar att sediment når det öppna förstärkningsmaterialet.

Spolning av en dagvattentunnel vid tömning av sediment.

6.6.2 Luftdagvattenbrunn

Luftdagvattenbrunn placeras i låglinjer eller lågpunkter för att ta emot dagvatten och sörja för systemets gasutbyte, precis som styrbrunnar men utan det system av ledningar och flödesregulatorer som dessa har. Istället leds dagvatten antingen direkt till det öppna förstärkningslagret via perkolationshål i brunnens sidor, till dagvattentunnlar eller styrbrunnar via antingen en tät ledning eller en dränledning. Om dränledning används sipprar vattnet in i det öppna förstärkningslagret redan på vägen till styrbrunnen. Luftdagvattenbrunnen har perforerade sidor och när den kopplas samman med dränledningar kan luft flöda in eller ut ur förstärkningslagret.

6.6.3 Luftbrunn

Vanliga luftbrunnar har perforerade sidor men saknar koppling till styrbrunnar. Luft och i viss mån även vatten, kan ta sig in genom betäckningen och strömma ut i det öppna förstärkningslagret genom brunnens perforerade sidor.

6.6.4 Placering av brunnar

Behovet av brunnar för styrning av dagvatten eller luftning beror på hur BGG-systemet utformas. Om markuppbyggnaden omkring systemet är väldigt tät kan varje enskild konstruktion behöva sina egna brunnar. På system med sammanhängande stråk av öppet förstärkningslager räcker det ofta med brunnar på de tidigare beskrivna platserna.

6.6.5 Dagvattentunnel (extrautrustning)

Dagvattentunnlar behövs främst om dagvatten leds direkt från en yta med mycket sediment, exempelvis högtrafikerade ytor, direkt ner i förstärkningslagret.

Dagvattentunnlar är nedgrävda halvcylindrar av plast. Vatten som leds in i dem sipprar därefter ut genom perforeringar i tunnelns vägg och filtreras genom geotextilen. På detta sätt avskiljs sediment från dagvattnet och hindras från att komma in i det öppna förstärkningslagret. Dagvattentunnlar ansluts till styrbrunnar och kan därifrån spolas rent när mängden sediment som ansamlats blivit för hög (se foton på dagvattentunnlar till vänster). I botten på dagvattentunneln läggs en speciellt tålig geotextil som är vävd och kan stå emot de krafter som uppstår när tunneln spolas.

6.6.6 Brunnsfilter (extrautrustning)

Brunnsfilter kan vara aktuellt att användas inom BGG-system om de mottar avrinning med mycket sediment eller speciella föroreningarm, men tas inte upp i denna handbok.

6.7 Rening av dagvatten

För att bidra till att nå vattendirektivets krav om att vattenförekomster ska uppnå god status krävs ett stort fokus på att optimera reningsfunktionen i BGG-system.

Rening av dagvatten sker på flera sätt inom BGG-system. Partiklar som dras med av vattnet kan samlas upp i sandfång, vegetation, växtsubstrat, dagvattentunnlar och det öppna förstärkningslagret eller avskiljs när det passerar genom den dränerande beläggningen. Genom att vattnets flödeshastighet minskar i det ytliga magasinet i regnbädden och i det öppna förstärkningslagret sjunker partiklarna till botten, så kallad sedimentering. Mindre partiklar kan fångas upp när vattnet passerar genom växtsubstrat i regnbäddar och det öppna förstärkningslagret via mekanisk filtrering. Lösta föroreningar binds främst till partikelytor, men renas även av vegetationen och mikrobiologiska processer. Den kemiska reningen är specifik för olika ämnen, eftersom de olika ämnena har olika laddning och därmed attraktion till olika ytor. Generellt är reningseffekten i absoluta tal högre under höst och vinter, och lägre under vår samt sommar men det varierar mellan ämnen. Orsaken till detta kan vara att belastningen på systemen då är större.
Vid val av reningsfunktioner och nivå är det viktigt att välja rätt i förhållande till recipientens status och förväntade föroreningsbelastning och deras förhållande mellan partikulär och vattenlösta. Även platsens unika förutsättningar och möjlighet till drift och underhåll bör beaktas.

Inlopp till regnbädd med sandfångskar. Strandbogatan, Uppsala. Foto: Rasmus Elleby.

För att förbättra det öppna förstärkningslagret och regnbäddarnas funktion som dagvattenfilter används ibland biokol. Detta materials porösa struktur, stora yta och kemiska egenskaper kan främja avskiljning av föroreningar och näringsämnen. Näring och föroreningar i dagvattnet kan till viss del bindas till biokolet istället för att dräneras bort. Dessa produkter främjar även mikroorganismer och vegetation vilka kan bidra till högre rening. Mikroorganismerna kan bryta ned en del föroreningar och bidrar på så sätt till vattenreningen.

För att rena vattnet från komplexa, organiska föroreningar kan man anlägga en zon i botten av BGG-systemet där vatten blir stående en längre tid sk. bevattningszon.
De syrefattiga förhållanden som då kan uppstå gynnar bakterier med förmåga att bryta ner föroreningarna till enklare, mindre skadliga ämnen. I syrefattiga förhållanden kan även bakterier som omvandlar kväveföreningar till kvävgas förekomma. Processen kallas denitrifikation och leder till mindre mängd näring i dagvattnet vilket i sin tur kan leda till minskad övergödning.

Under de senaste åren har branschen börjat använda växtsubstrat med väldigt hög genomsläpplighet (>1000 mm/h). Den främsta orsaken till att det har valts ett substrat med hög genomsläpplighet är att gasutbytet för vegetationen och mikroorganismer blir hög och i vissa fall även för att uppnå önskad tömningstid av fördröjningszonen, det ytliga magasinet. En anledning är också att genomsläppligheten på växtbäddsmaterialet kan minska kraftigt under de första åren och sedan stabilisera sig på en lägre nivå. På senare år har man dock börjat dimensionera regnbäddar för regn med kortare

Inlopp till regnbädd med sandfångskar. Amanuensgatan, Uppsala.

återkomsttid, vanligen ett- till tvåårsregn, eftersom man har märkt att de inte renar så effektivt när substraten är väldigt genomsläppliga.

Ett växtsubstrat med hög genomsläpplighet har oftast en lägre fukt- och näringshållande förmåga och kan där med kräva extra gödsling och vattning under etableringen. Substraten gödslas ofta lite extra inledningsvis för att få vegetation att snabbt etablera sig och få ett utvecklat rotsystem. Vid mättat flöde genom växtsubstratet läcker växtbädden under dessa omständigheter tyvärr näringsämnen. Främst de lösta föroreningar som tidigare adsorberats av organiskt material, fina mineralpartiklar och kolloider riskerar att läcka ut. Även risk för erodering av material från växtbädden är högre vid större genomsläpplighetskapacitet.

För att minimera näringsläckage från växtbädden kan ett substrat med mer finmaterial och därmed lägre genomsläpplighet användas för att gynna reningen. För att tömningstiden av fördröjningszonen nu inte skall bli för lång och missgynna vegetationen och mikroorganismer, bör djupet på denna minskas. Bräddningen bör alltså placerats på en lägre höjd (ca; 50–100 mm) över växtsubstratet och därmed tillåts endast den första delen av regnen som avrinner att infiltrera ner genom växtsubstratet. Resterande del av regnet bräddas då direkt ner i det öppna förstärkningslagret. Detta ställer lägre krav på växtsubstratets dräneringskapacitet än regnbädden med djup fördröjningszon och därmed kan eventuellt en AMA B-jord fungera i den här typen av regnbädd.

Flera undersökningar har visat att den största delen av reningen sker i de översta 200 mm av substratet i regnbäddar, där med bör 200 mm växtsubstrat/-jord vara fullt tillräckligt avseende funktionen rening. En AMA B-jord eller sandjord typ golfgreenssubstrat med lägre infiltrationshastighet (<150mm/h) än de substrat som vanligen används i regnbäddar, kan därmed generera en högre rening. Detta genom att en jord med lägre infiltrationshastighet har större möjlighet att öka fastläggning av finsediment och adsorbera lösta föroreningar. Traditionella växtbäddsmaterial som är uppgödslade bör inte användas vid anläggning av regnbäddar. I stort utsträckning måste den näring som behövs för etableringen ske genom tillförsel av näring i bevattningssäckar och för undervegetation via långtidsverkande gödning som appliceras i små givor på ytan vid flera tillfällen. Till ovan resonemang skall tilläggas att detta kan försämra miljön för önskad vegetation och mikroorganismer.

Generellt sätt när det kommer till gödsling av regnbäddar i den fortsatta driften bör detta endast ske om ett tydligt behov förre ligger. Avseende kväve och fosfor kommer det nog inte föreligga något behov av att tillföra dessa näringsämnen. Som exempel, om vi omhändertar avrinningen från ett gaturum i en regnbädd, så mottar den en gödslingsmängd motsvarande 200kg N & 10 kg P/ha regnbädd och år. I exemplet utgår vi från att ett gaturum avger ca: 10kg N & 0,5kg P/ha (ca 1000 fordon/dygn) och att regnbädden är ca 5% (1/20 del) av ett gaturum. Att välja växtbäddssubstrat till BGG-system och då främst regnbäddar kan bli en tuff uppgift i och med att funktionerna rening och växtbäddsegenskaper kolliderar med varandra. Om båda är av extra hög prioritet krävs det ett stort fokus på detta under hela processen för att få det rätt. För mer info se kapitlet om växtbäddssubstrat 6.4.3.1.

Anläggande av BGG-system
Norra infarten, Vellinge

I BGG-system anläggs ett sekundärt fördröjningsvolym under regnbädden vilket gör att växtsubstratet endast behöver ta emot den första delen av regnet (first flush). Det är oftast framför allt den första avrinningen som för med sig högst halter föroreningar. Föroreningsgraden beror dock också på hur lång tid som gått sedan senaste regnskuren. För att öka reningen i en regnbädd är det alltså lämpligt att låta den ta emot endast det första flödet i en regnskur.

En fördel med att låta substratet endast ta emot det mest förorenade dagvattnet är att det minskar risken för läckage av föroreningar från substratet. Om växtjorden har 5–10 procent porvolym att ta emot inledande flödespuls så kan stora delar av en regnskur absorberas i växtsubstratet utan att generera dränerande vatten som läcker näringsämnen. Dessutom kan jorden få en högre fukthållande förmåga och därmed ett större vattenförråd till vegetationen. Det är även viktigt att känna till att fördröjning av en större nederbördsvolym i det ytliga magasinet endast skulle medföra en obetydligt större avskiljning av föroreningar varje år.

Enligt SMHI varar en måttlig regnskur i 10–20 minuter, med ett flöde på10–30 l/s ha. Detta kan jämföras med ett-årsregn som ger 75–100 l/s ha på 10–20 minuter och där den senare delen av ett-årsregnet sannolikt redan har kraftigt minskad föroreningsgrad. Vid övriga mer långvariga regn är det främst fördröjningen som är relevant.

En jord med lägre infiltrationshastighet har större möjlighet att öka fastläggning av finsediment och adsorbera lösta föroreningar

	Regnskur			
Intensitet	Lätt	Måttlig	Stark	Mycket stark (skyfall)
mm/10 min	< 0,4	0,4-2	2-8	≥ 8*
l/(s•ha) på 10 min	< 6,7	6,7-33,3	33,3-133,3	≥133,3

Tabell 10. Vägledande klassificering av regnskurar baserat på intensiteten. Källa: L.Ek, T. Grönvall, LTH (2018).

För mer information om dimensionering av regnbäddar avseende rening av årsvolym, se skrifterna *Hydrologisk dimensionering av buffertmagasin för dagvatten* samt *Dimensionering av biofilter och regnbäddar för dagvattenrening,* Stockholm vatten och avfall.

Anläggande av BGG-system
Norra infarten, Vellinge

6.7.1 Fördröjningszon under växtbädden

En regnbädd med fördröjningszon under växtsubstratet med ett dämt utlopp för bräddning och ett strypt utlopp för tömning, får oftast en större fördröjningskapacitet mot en traditionell nedsänkt regnbädd utan undre magasin. Konstruktionen tar emot regnskurar i ytmagasinet och leder endast vidare senare delar av regn, som inte är lika förorenade, till fördröjning i det undre magasinet (öppet förstärkningslager).

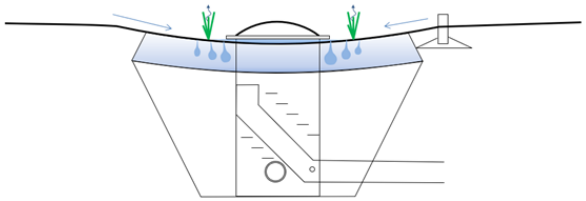


Illustration: Bert Sandell

Figur 42. Om det varit upphållsväder i en vecka innan en liten skur, kommer allt vatten från skuren att infiltrera in i växtjorden och ingen del av skuren avleds till det öppna förstärkningslagret. Rening sker främst genom filtrering och adsorption i växtjorden.

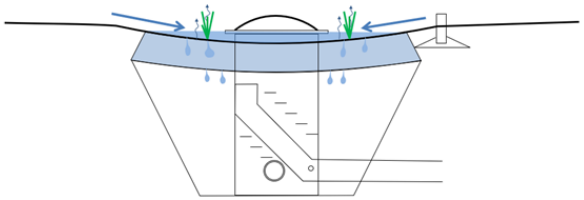


Illustration: Bert Sandell

Figur 43. En måttlig skur kommer i de flesta fall endast att fylla på vatten i växtjorden och inte avledas till den undre fördröjningszonen (det öppna förstärkningslagret). Rening genom adsorption i växtjord och sedimentation i erosionsskydd och vid översilning av ytan.

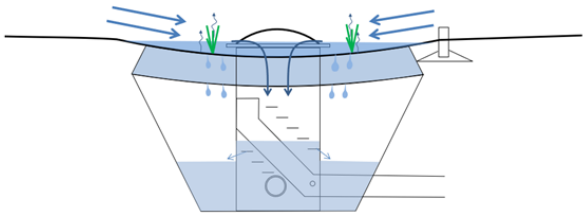


Illustration: Bert Sandell

Figur 44. En större skur leder till att växtjorden blir mättad och ytvatten börjar ledas ner i den undre fördröjningszonen. Viss sedimentation i övre fördröjningszonen, men främst rening genom filtrering och sedimentation i sandfång och öppet förstärkningslager.

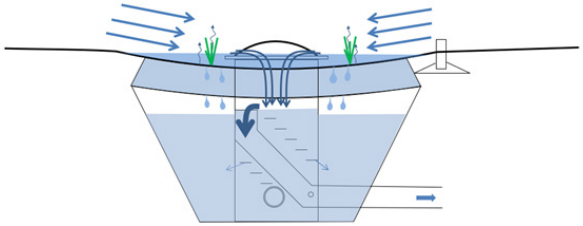


Illustration: Bert Sandell

Figur 45. Konstruktionen klarar oftast det dimensionerande regnet tack vare de två fördröjningszonerna.

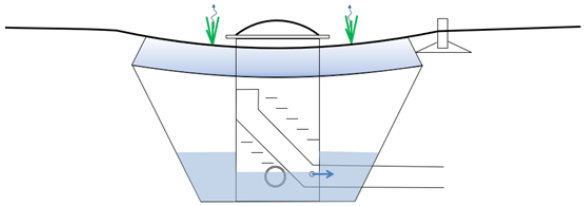


Illustration: Bert Sandell

Figur 46. Ett alternativ kan vara att avleda större regn än ett 2-årsregn direkt till dagvattennätet eller breddas till annan mottagande yta om det är önskvärt.

Träd utsatt för torkstress.
Brno, Tjeckien.
Foto: NEXT INSTITUTE

6.8 Utformning och dimensionering mot torka och värmeböljor

Texten i detta avsnitt bygger på mastersarbetet Modellering av torkstress på vegetation i BGG-system i modelleringsverktyget MIKE SHE (2022) *av Arvid Backlund i civilingenjörsprogrammet Miljö och vattenteknik, som skrevs med handledning av Edge & DHI inom SLU och Uppsala universitet.*

I framtiden förväntas Sveriges klimat förändras med ökande temperatur, längre vegetationsperiod och ökad evapotranspiration. Det ökar risken för fler torrperioder som i sin tur är skadliga för den urbana vegetationen. För att kompensera mot torrperioder behövs smartare dagvattenhantering, som BGG-system, som kan bidra med positiva effekter för stadens vegetation, klimat och minska värmeöar.

Trots alla de ekosystemtjänster som stadsträd bidrar med, är den urbana miljön en plats där de sällan ges möjlighet att nå sin fulla potential. Och även under de bästa förutsättningarna utsätts stadsträd för en rad olika stressfaktorer. Dessa stressfaktorer kan delas in i biotiska och abiotiska påfrestningar. Till biotiska påfrestningar hör angrepp av sjukdomar och skadedjur. Medan abiotiska påfrestningar är nära relaterade till trädens tillväxtmiljö och innefattar faktorer som otillräckligt solljus, luftföroreningar, syrebrist, jordkompaktering, extremtemperaturer, vattenbrist, salttillförsel och trädbeskärning. Generellt är det dock bristen på vatten och gasutbyte som är den störst bidragande faktorn till trädens hämmade tillväxt. En anledning till problematiken är att jordvolymen som träden planteras i ofta är för liten för att hålla en adekvat mängd vatten. Vattenbristen beror ofta på att markvolymen som träden planteras i är alldeles för liten och att marken är för hårt kompakterad, vilket är en följd av att träden konkurrerar med en rad

Träd i stadsrummet kan uppvisa en storlek motsvarande ett 40 år yngre träd som växt i mer naturliga miljöer och når sällan sin fulla potential

andra samhällsfunktioner i stadsrummen. Vattenbristen har en rad negativa effekter på träden vilket gör att de upplever förhållanden som ofta stressar trädets hälsa och tillväxt. Detta gör att träd i stadsrummet kan uppvisa en storlek motsvarande ett 40 år yngre träd som växt i mer naturliga miljöer och att de sällan når sin fulla potential. De hårdgjorda ytorna i staden lagrar och strålar mycket värme, som under varma dagar leder till ett mikroklimat som inte är optimalt för träden. Hur den urbana vegetationen klarar av längre perioder av torka och högre temperatur är dock ett område som behöv tas större hänsyn till framöver och mer forskning behövs.

Enligt SMHI definieras en torrperiod som en eller flera sammanhängande dagar utan mätbar nederbörd. För att träden i stadsrummen ska klara av perioder utan nederbörd krävs det att systemen de planteras i, är väl utformade för både dagens och framtida förhållanden. Med BGG-system ges vegetationen ett större utrymme för rotutveckling gentemot konventionella vegetationsytor, då rötter kan utvecklas ned i det öppna förstärkningslagret och ut i överbyggnaden för hårdgjorda ytor och angränsande terrass. Men utrymmet är fortsatt begränsad och många av de ekosystemtjänster som

Träd utsatt för torkstress.
Brno, Tjeckien.
Foto: NEXT INSTITUTE

växtligheten bidrar med riskerar att bli låga och ineffektiva då de utsätts för längre perioder av vattenunderskott. Dagvattensystem dimensioneras idag så att de ska klara av att omhänderta avrinning som genereras från ett nederbördstillfälle med en viss given återkomstperiod, exempelvis ett 20-årsregn eller ett 30-årsregn. Det hade varit intressant att undersöka om det går att applicera samma förhållningssätt mot torka vid planering och dimensionering av växtbäddar och de träd som planteras där. Helt enkelt att dimensionera vegetationssystemen efter samhällsekonomiskt försvarbara återkomsttider på torrperioder t.ex. 30 – 50 årstorka. Vid ett sådant resonemang behöver man även ta hänsyn till risken av skador på ekosystemtjänsterna som vegetationen generera och kan ta lång tid att få tillbaka.

Träd förbrukar vatten till ett antal vitala funktioner såsom näringsupptag, fotosyntes, mineral- och sockertransport och för att ge stadga i cellerna. Det är dock bara 1-2% av vattnet som används för att tillgodose dessa behov, resterande del avges via transpiration från trädens blad och barr. I studier har det visats att den verkliga

Vi borde dimensionera växt-bäddar efter samhällsekonomiskt försvarbara återkomsttider på torrperioder t.ex. 30 – 50 årstorka.

avdunstningen (transpirationen) från fyra olika trädslag relaterat till avdunstningen från en öppen vattenyta. Resultatet visade på små skillnader i transpirationen mellan de olika trädslagen och att den för alla trädslag, under optimala förhållanden, motsvarar ungefär 30% av avdunstningen från en öppen vattenyta. Alltså är den främst bidragande faktorn till trädens vattenförbrukning storleken på trädkronan framför trädart, när optimal tillväxt önskas.

Vattenförbrukningen för ett urval av träd med varierande kronstorlek redovisas i tabell 11. Dessa beräkningar är uppskattade på den teoretiska maximala storleken av träden, en storlek vilket stadsträd sällan når. Träd som planteras i urbana vegetationsytor når sällan en storlek över 75–80% av dess teoretiskt maximala storlek, vilket ofta beror på växtbäddens begränsade utrymme. Det betyder däremot inte att den begränsade tillväxten per automatik stressar träden till en kortare livslängd. Det finns inga raka svar på hur lång tid ett givet träd kan klara med vattenbrist.

Vegetation i BGG-system. Rundelsgatan, Vellinge.

6.8.1 Träd och torkresiliens

Träd har ett antal olika försvarsstrategier att tillgå när de utsätts för vattenbrist. I vilken utsträckning detta sker beror på om träden är anisohydriska eller isohydriska. Anisohydriska arter tenderar att fortsätta transpirera i högre utsträckning även när mängden vatten minskar medan isohydriska växter sluter sina klyvöppningar redan vid tidiga täcken på vattenbrist. Anisohydriska arter har därigenom ett mer risktagande strategi där produktionen av biomassa bibehålls längre under torra perioder.

Det som händer när ett träd utsätts för vattenbrist är att rötterna känner av detta och börjar producera hormonet abscisinsyra, som skickas vidare till bladen. Hormonet får bladen att sluta eller helt stänga sina klyvöppningar för att på så sätt minska trädets vattenförbrukning.

Trädart	Kronradie [m]	Vattenförbrukning [l/dag]
Oxel	3	107
Björk	3,5	146
Fågelbär	4	198
Lönn	6	428
Skoglind	7,5	669
Hästkastanj	10	1189
Ek	12,5	1857

Tabell 11. Vattenförbrukning för olika trädarter. Beräkningarna utförda av Ericsson (2009).

Träd utsatt för torkstress.
Brno, Tjeckien.
Foto: NEXT INSTITUTE

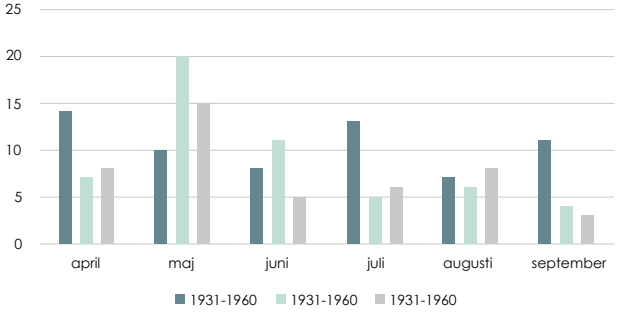
Hormonet hämmar även tillväxten ovan jord vilket gör att nya blad blir mindre och avståndet mellan de nya bladen minskar, samtidigt som mer resurser allokeras till att bilda nya rötter. Om vattenbristen fortsätter att förvärras ytterligare kommer trädet tvingas minska sin bladyta för att ytterligare minska vattenförbrukningen. Det gör de genom att offra de äldsta bladen, vilket sker genom att löven antingen faller av direkt eller först gulnar innan de faller av.

De vattenbesparade responserna har en vidare effekt på trädets fotosyntes. Vid kortare perioder av torka hämmas först fotosyntesen då bladen får svårare att ta upp koldioxid när klyvöppningarna sluts, innan den helt upphör ifall vattenbristen fortskrider. Fotosyntesen återhämtar sig långsamt men återgår ofta till normal funktion när vatten återigen blir tillgängligt för trädets rötter, men trädet kan i vissa fall bli permanent skadat av långvarig torka.

Via fotosyntesen bildas glukos som trädet sedan förbrukar vid cellandning (respiration). När fotosyntesen hämmas vid torrperioder och cellandningen fortsätter opåverkat, kommer trädet köra slut på sina glukosreserver. Fotosyntesens långa återhämtningstid efter torka kommer därigenom påverka trädets glukosreserver under längre tid än torkan pågår. Detta kan leda till brist på glukos till att försörja andra vitala funktioner, såsom försvarsmekanismer, vilket försämrar trädets vitalitet. Det i sin tur leder till att träden lider en förhöjd risk att drabbas av sjukdomar och angrepp från skadedjur.

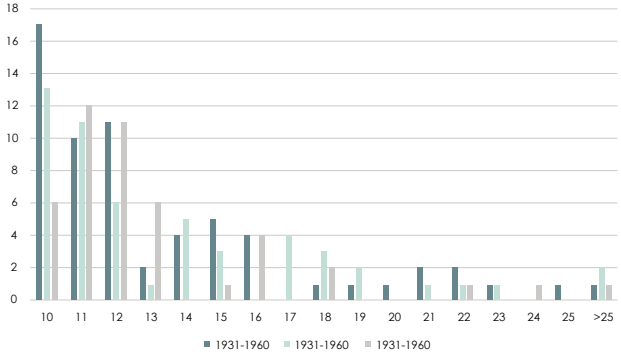
Trädarter är olika känsliga för torka och torrperioder, ofta beroende på vart de ursprungligen kommer ifrån. Trädarter som återfinns i torra regioner har utvecklat ett antal strategier för att bättre hantera den bristande tillgängligheten på vatten. Exempel på strategier är djupgående finrotsystem, djupa pålrötter med möjlighet att lagra vatten samt blad anpassade för varma och soliga klimat. Dessa blad har ofta en hög andel biomassa

Torrperiodsfördelning över vegetationsperioden - Uppsala



Figur 47. Månadsfördelning för torrperioder över 10 dagar under vegetationsperioden. Sammanställning av data hämtade från mätstationer i Uppsala (SMHI).

Torrperiodsfrekvens - Uppsala



Figur 48. Antal tillfällen då torrperioder över 10 dagar har inträffat under perioden april-september. Sammanställning av data hämtade från mätstationer i Uppsala (SMHI).

per area och tjocka cellväggar vilket gör att de klarar av högre negativt vattentryck (turgortryck) i bladet innan de vissnar och tar skada. Att välja träd som kommer klara av städernas torra mikroklimat är svårt då vissa strategier, som djupa rotsystem, är svåra att utnyttja i en stadsmiljö med hårt kompakterade jordar och terrasser. Gemensamt för många träd är att de tenderar att omfördela sina resurser när vattentillgången minskar. Istället för att växa ovan jord fokuseras tillväxten till rötterna för att öka möjligheten att absorbera vatten ur en större volym jord.

Träd som anses torktåliga har en särskilt stor mängd rötter och fokuserar då ofta på att producera mycket finrötter. Detta gör att de når ut i en större jordvolym per producerad rotmassa. Hur mycket rottillväxten ökar varierar väldigt mycket och även om rottillväxten tenderar att öka, har studier visat att rotbiomassan inte förändras lika mycket. Detta tycks bero på att en del av rötterna (ofta finrötter) självdör till förmån för ny tillväxt av rötter, som har bättre möjlighet till upptag av vatten. Rotdödligheten kan skapa långvariga problem och göra trädet känsligare för torka, efterföljande år. Trädens rotsystem är komplexa och rottillväxten sker endast där yttre faktorer är gynnsamma. Den stora majoriteten av rotbiomassan återfinns i jordens översta 0,6 m, där jorden är minst kompakt och vatten-, syre- och näringstillgången är mest tillgänglig.

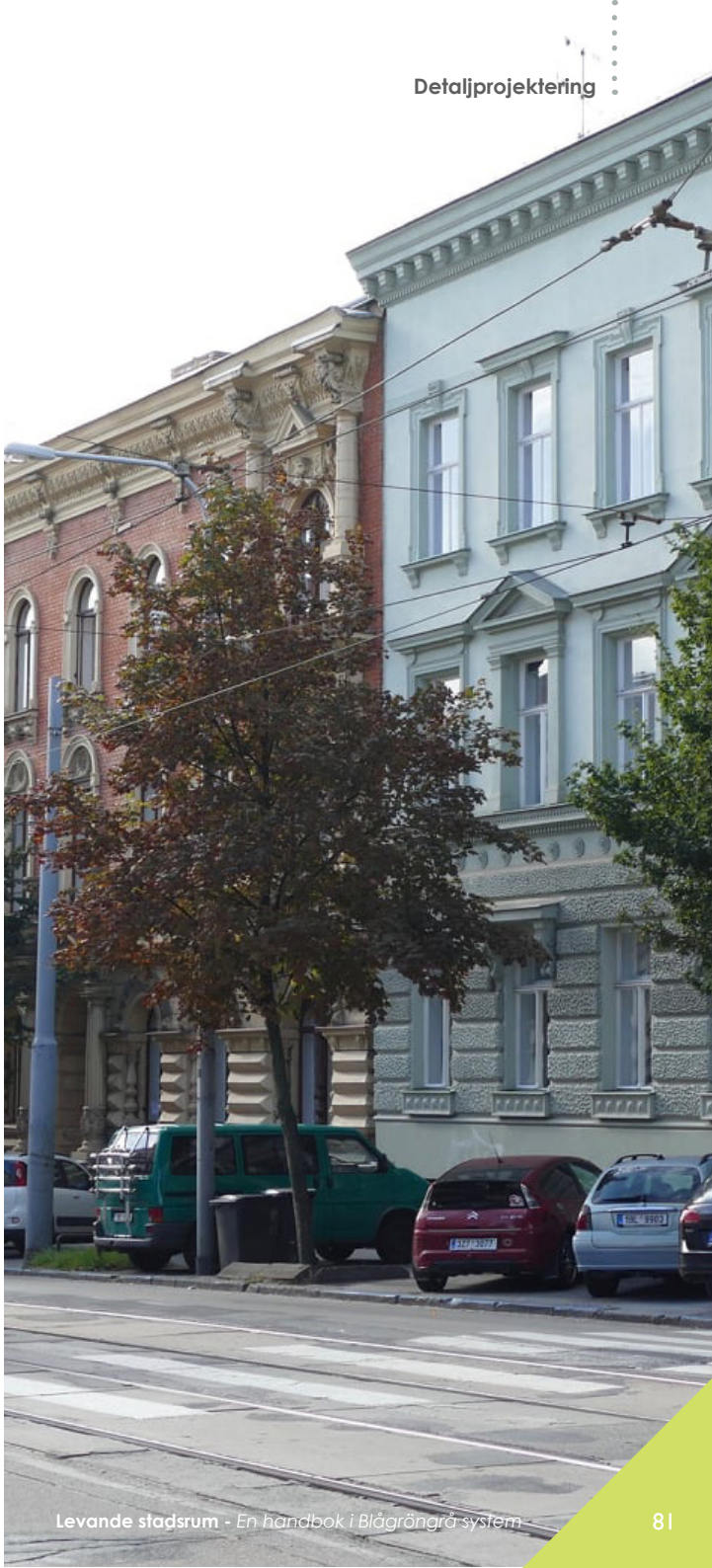
Träd utsatt för torkstress.
Brno, Tjeckien.
Foto: NEXT INSTITUTE

6.8.2 Växtbäddar och torkresiliens

Jordens eller växtbäddens struktur är avgörande för trädets vitalitet. Jordens porer är det system som tillhandahåller trädets rötter med utrymme för tillväxt, vatten och gasutbyte. Porer kan delas upp i tre klasser. De porer som är större än 0,03 mm kallas makroporer, mellan 0,03–0,0002 mm benämns mesoporer och mikroporer är de porer som är mindre än 0,0002 mm. När alla porer i marken är vattenfyllda har marken nått sin maximala vattenkapacitet. Efter ett tag kommer vattnet i makroporer att dräneras bort av gravitationen då porerna är för stora för att kunna hålla kvar vattnet, marken ha då nått sin dräneringsjämnvikt (fältkapacitet). När jorden når fältkapacitet är ungefär 60–80% av porsystemet fyllt med vatten, medan 20-40% är luftfyllt. Hela mängden vatten är dock inte tillgängligt för växtligheten.

Det växttillgängliga vattnet ges som skillnaden mellan dräneringsjämnvikt och den permanenta vissningsgränsen och varierar mellan olika växtsubstrat och jordar. Den permanenta vissningsgränsen (teoretisk gräns) inträffar när växtens rötter inte längre klarar av att suga upp vattnet ur markens porer. Vid detta undertryck återfinns vatten endast i mikroporer. Hur mycket växttillgängligt vatten som kan magasineras beror på växtsubstratets sammansättning och struktur. En sandig jord kan hålla relativt lite vatten, men nästan allt är tillgängligt för växten. Medan en jord med styv lera kan hålla väldigt stora mängder vatten, men nära 50% av det vattnet kan vara för hårt bundet för att vara tillgängligt för växten. Det finns även biokol och vulkaniska produkter som pimpsten som har väldigt hög porositet och kan innehålla mycket stora mängder växttillgängligt vatten. I en växtbädd är det således en fördel med en jord som har en stor andel mesoporer som kan hålla mycket växttillgängligt vatten.

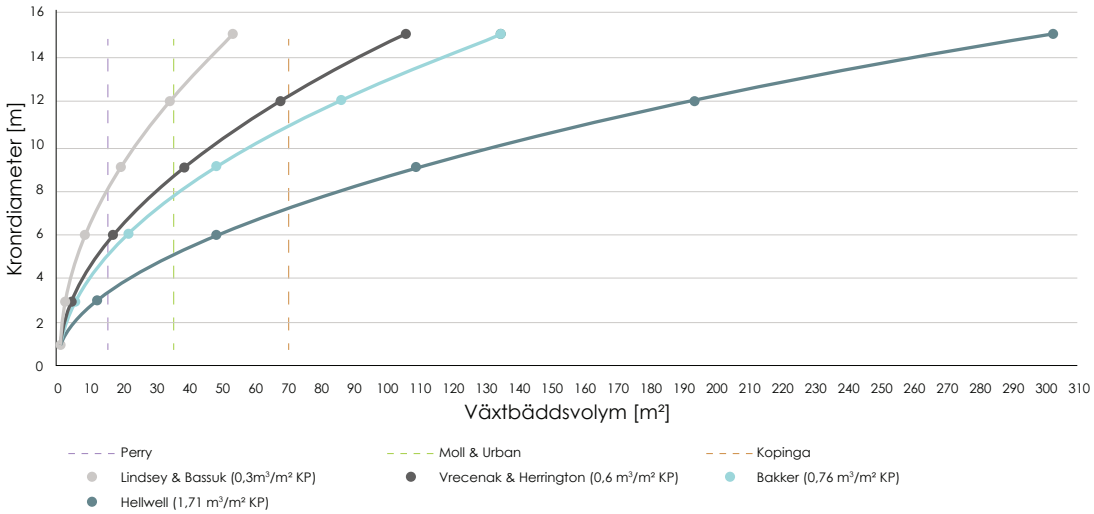
Träd utsatt för torkstress.
Brno, Tjeckien.
Foto: NEXT INSTITUTE



6.8.3 Metoder för att uppskatta växtbäddsvolym

Hur stor växtbädd ett träd behöver varierar med trädslag och storlek på trädet men generellt gäller att en så stor volym som möjligt alltid är det bästa alternativet, då trädens rötter upptar ett mycket större område än trädkronan om utrymmet ges. En utbredd växtbädd kan behövas för att ge stadga till trädet att klara vindlaster. I en urban miljö med begränsat utrymme finns inte alltid möjligheten att anlägga växtbäddar som är så stora. Lindsey & Bassuk har sammanställt ett antal studier som har kommit med förslag på vad som anses vara adekvata växtbäddsvolymer för ett enskilt träd, se figur 49. Förslagen har framarbetats med olika metoder och bygger på olika faktorer som är av relevans för trädens vitalitet, medan vissa förslag närmast kan ses som tumregler att förhålla sig till. Resultaten visar att det finns en stor variation mellan vad som anses som en lämplig växtbäddsvolym. Men också att det beror på vilken växtfaktor som studeras, blir det stor variation i resultaten. Det är även tydligt att många av förslagen snabbt blir orealistiskt stora och därmed orealistiska att genomföra i ett stadsrum där växtbädden kommer konkurrera med andra samhällsviktiga funktioner. I flertal urbana situationer kan det vara aktuellt att tillföra Stadsvatten eller tekniskt vatten för att kompensera för minskad växtbäddsvolym.

Rekommenderade storlekar på växtbäddar



Figur 49. Ett antal rekommenderade storlekar på växtbäddar. Streckade linjer anger minsta storlek för fullvuxna träd. Heldragna linjer är uppskattningar baserade på förväntad kronstorlek. Resultat hämtade från Lindsey och Bassuk.

6.9 Växtmaterial för BGG-system

För att säkerställa långsiktigt hållbar vegetation i våra stadsrum är det viktigt att välja växter anpassade efter ståndorten. Krav på växter till ett BGG-system skiljer sig inte så mycket från konventionella planteringar på allmän platsmark med växter som är anpassade mot många olika miljötryck. I ett BGG-system innebär detta att växterna ska vara tåliga för längre perioder av torka, kortare perioder med stående vatten och låga näringsnivåer. Man ska alltså inte låta sig luras av namnet ”regnbädd” och tro att det innebär en ovanligt fuktig växtplats. Däremot kan en regnbädd, även vid ett litet regn, fyllas upp snabbt i och med att den är så mycket mindre än avrinningsområdet. Exempelvis: avrinner 5 mm nederbörd och regnbädden är 5% av avrinningsområdet mottar den en vattenvolym på 100 mm per kvadratmeter. Växter som i naturen förekommer på platser med fluktuerande grundvattennivå eller som är anpassade till många olika miljöbelastningar är ofta väl lämpade för BGG-systemets fuktförhållanden.

Stående vatten är problematiskt för många växter eftersom det innebär att marken blir syrefattig. Bristen på syre, överskott av koldioxid samt gaser som bildas under anaerob (syrefri) nedbrytning är skadligt för växtrötter. De skador som uppkommer leder till sämre upptag av både vatten och näring vilket kan uttryckas som torkskador på växten och leda till sämre förankring. De flesta växter klarar dock kortare perioder, 1-2 dygn, med stående vatten utan större problem. Under vintern klarar växter generellt sett än längre perioder av stående vatten eftersom de är i vila och påverkas lite av omgivningen. Det är fördelaktigt att välja vegetation som har kvar vackra växtdelar som kan stå kvar under vintern. Inte enbart utifrån estetiska eller biologiska värden utan även av tekniska skäl. Växternas stjälkar hjälper till att penetrera eventuell isbildning så att gasutbyte och infiltration av dagvatten även fungerar vid isbildning. BGG-system har generellt väldigt högt gasutbyte på grund av sin uppbyggnad vilket bidrar till ett frodigt mikroliv. En välfungerande symbios mellan växter och mikroliv bidrar i sin tur till ett mer effektivt närings- och vattenupptag vilket gynnar det vedartade växtmaterialet.

När växter ska väljas till en regnbädd, tänk då på att de ska stå i en sänkt yta jämfört med kringliggande nivåer. Detta gör att högre växter med fördel kan väljas så att de kan upplevas av förbipasserande. Växter som är lite högre och har styv stjälk är fördelaktiga i regnbäddar. Högre växter klarar av om vatten blir stående då någon del av växten kan hålla sig ovanför vattenytan, och växter med styvare stjälk kan motstå kraftigare vattenflöden.

På nästa sida finns förslag på lämpligt växtmaterial till BGG-system i makadambaserade substrat och överbyggnader.

I ett BGG-system ska växterna vara tåliga för längre perioder av torka, kortare perioder med stående vatten och låga näringsnivåer.

Svackdike med ängsyta, Baravägen, Lund

Gräsytor och ängsytor kan med fördel anläggas för konstruktionerna vegetationsyta, regnbädd och svackdike. Om BGG-systemet snabbt ska tas i bruk efter anläggande rekommenderas att använda färdigt gräs eller ängsmattor. Genom detta så minskas risken för erosionsskador vilket är överhängande vid sådd på plats.

När gräs- och ängsytor ska anläggs så utesluts täcklagret ovan växtsubstratet.

6.9.1 Etablering

Växtsubstrat till BGG-system kan ha lägre vattenhalt vid leverans än vanlig växtjord. Regnar det sparsamt initialt så behöver substratet fyllas på genom bevattning för att kunna försörja vegetationen i etableringen. Vid plantering av vedartat växtmaterial under vintern är det viktigt att bevattning utförs tidigt på våren. Detta för att det ska finnas hög markfukt i substratet ett par veckor innan förväntad lövsprickning. Bevattningen måste utföras med sådana mängder och frekvenser att ytan utanför klumpen aldrig riskerar att torka ut i etableringsfasen.

Erfarenheten av växter i BGG-system visar att träd som planteras i dessa typer av substrat ska ha ett väl utvecklat rotsystem och vara förkultiverade i så kallade Root Control Container/ Airpot. Kvalitet anges RCC/AP. I områden där det är risk för kalla vintrar bör sen höstplantering undvikas.

Brunnar förser växtbädden med syre och vädrar ut skadliga gaser samtidigt som de leder vatten direkt ner till rötterna. I kombination med kloka växtval leder det till mycket goda förutsättningar för friska och vackra planteringar. Inga växter kan dock utnyttja sina naturliga förmågor till fullo om de inte är väl etablerade på växtplatsen. Den första tiden efter plantering måste därför skötseln bidra med de resurser, främst vatten, som växterna ännu inte kan tillgodose sig.

När växterna väl etablerat sig bör dock en medvetenhet finnas om att de ofta trivs väldigt bra i BGG-system, med stor tillväxt som följd. När rotsystemet mår bra kan framför allt träd och buskar bli väldigt stora, vilket bör beaktas vid växtval för att undvika framtida skötselproblematik i form av beskärning. Var med andra ord aktsam på att inte välja för stora trädarter.

I slutet av handboken på sid. 124 finns förslag på lämpligt växtmaterial till BGG-system i makadambaserade substrat och överbyggnader.

Växtsubstrat till BGG-system kan ha lägre vattenhalt vid leverans än vanlig växtjord. Regnar det sparsamt initialt så behöver substratet fyllas på genom bevattning för att kunna försörja vegetationen i etableringen.

Förslag på hur en applicering av vegetationskonceptet presenterat i examensarbetet "Tredimensionella klätterväxter" skulle kunna se ut. Här från en gångfartsgata i Malmö med ett växtval av Silverregn (Fallopia aubertii).

Grön inspiration! För vidare läsning se https://stud.epsilon.slu.se/18058/3/brattstrom-m-20220704.pdf

6.9.2 Tredimensionella klätterväxter

Texten i detta avsnitt bygger på mastersarbetet Tredimensionella klätterväxter- potentialen i att använda fristående klätterväxter som alternativ till konventionella stadsträd för att skapa urbana ekosystemtjänsterav (2022) *av Martin Brattström i Landskapsarkitekturprogrammet vid Alnarp SLU.*

Ett intressant urbant vegetationsbyggnadskoncept som är på frammarsch är s.k. tredimensionell grönska, där klätterväxter utnyttjas för att skapa grönvolymer. Genom att integrera tredimensionell grönska i BGG-system finns det möjlighet att få in volymbildande grönska även på platser där utrymmet för träd är begränsat.

Ovan mark konkurrerar trädkronorna om utrymme med fasader, lyktstolpar och frihöjder och under mark trängs trädets rötter med ledningar och rör. Resultatet riskerar bli att de volymbildande träden får en hämmad tillväxt eller i värsta fall väljs bort. Därmed utgår också de viktiga ekosystemtjänster som träden annars hade kunnat leverera. Gatan får inte den välbehövliga skuggan under den heta sommardagen, kan inte ta upp luftföroreningarna från trafiken, eller reglera vinden när det blåser.

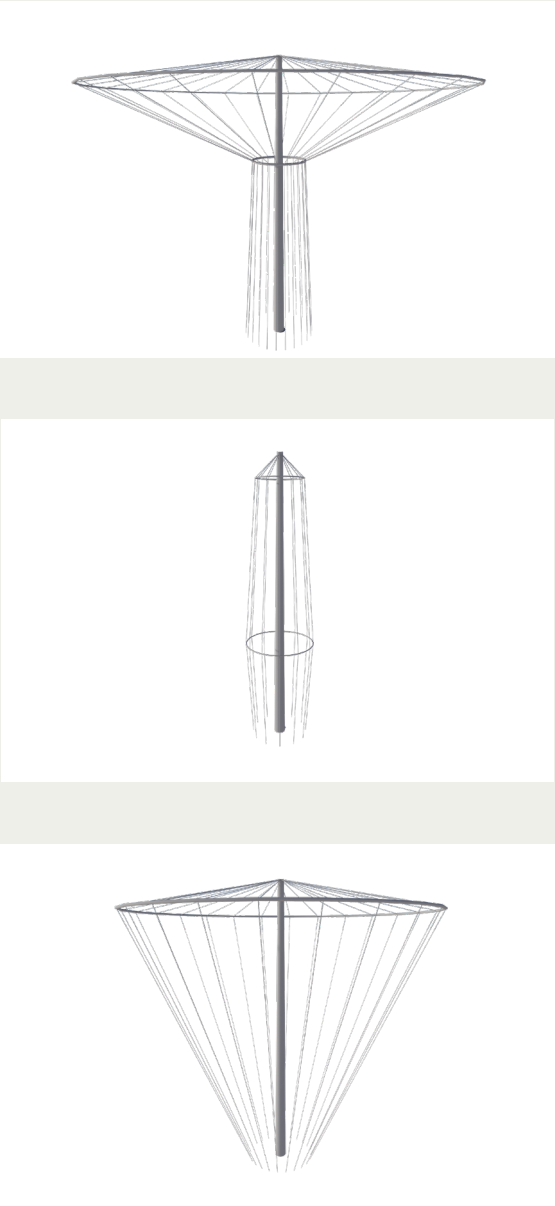
Genom att erbjuda klätterväxter ett fristående och för ändamålet gestaltat klätterstöd går det att skapa volymbildande vegetation som kan skräddarsys efter gaturummets rumsliga förutsättningar. Stödet ger användaren möjlighet att anpassa klätterstödet efter gatans storlek, den valda klätterväxtens egenskaper och krav, samt i vissa fall även vilken ekosystemtjänst som ska gynnas. Detta sker genom ett system där metallringar hängs upp i vajrar förankrade i en mittstolpe. Genom att ändra antalet, storleken och ordningen på ringarna går

det att styra formen på stödet, och genom att anpassa höjden på mittstolpen och avståndet mellan vajrarna går det att tillgodose den valda klätterväxtens önskemål.

Förutom de ovanjordiska fördelarna finns det med en sådan här vegetationslösning även fördelar att dra under mark. Jämförande studier på fördelningen av biomassa hos klätterväxter och träd visar att vid en likvärdig bladmassa har klätterväxter endast ett hälften så stort rotsystem som trädet. Detta mindre rotsystemet talar för användandet av klätterväxter på platser där utrymmet under mark är begränsat. Det förhållandevis mindre rotsystem möjliggörs bland annat av att rötterna hos klätterväxter inte behöver ha några förankrande egenskaper, vilket träd behöver, eftersom klätterväxter istället förlitar sig på externt stöd för att kunna växa upprätt. Av samma anledning behöver inte klätterväxter investera energi i omfattande vedbildning, utan växtgruppen präglas istället av de karaktäristiskt smala och rankande stammarna. Detta gör att klätterväxter istället i regel kan investera mer energi i blad- och höjdtillväxt. Följdaktligen går det därför att förvänta sig en snabb grönska, vilket kan vara relevant på platser där den gröna omvandlingen behöver ske omgående. Andra fördelar som en vegetationsbyggnadsmetod likt den här kan ha är möjligheten att jobba med en komposition av klätterväxter på ett och samma klätterstöd. Det ger inte bara en möjlighet att skapa visuella kvaliteter utan kan även vara ett sätt att förlänga blomningsperioden för pollinerande insekter.

Kunskapen om de ekosystemtjänster som en sådan här vegetationsmetod med klätterväxter skulle generera är idag något hämmad av det stundom bristfälliga kunskapsläget när det kommer till klätterväxter. De studier som har gjorts gällande klätterväxters förmåga att generera ekosystemtjänster i gaturummet visar dock att klätterväxter med framgång kan användas för att skapa skugga, rena luften från föroreningar samt lokalt sänka temperaturen genom evapotranspiration. Gällande dess förmåga att reglera dagvatten har försök med arter av klätterväxter visat sig ha en god renande effekt på förorenat dagvatten med hjälp av dess rotsystem och växtbädd.

En utmaning när klätterväxter ska användas i staden är att de i regel har sitt naturliga ursprung i skogssystem med en god tillgång på markfukt. Klätterväxter är därför i regel dåligt rustade för de torra förhållande som kan uppstå i en stad där det råder vattenobalans. Att använda tredimensionella klätterväxter i kombination med en växtbädd som utnyttjar BGG-systemets förmåga att ta vara på dag- och Stadsvatten och göra det växttillgängligt kan därför öka klätterväxternas växtförhållanden avsevärt. Studier på klätterväxters förmåga att stå längre perioder i de blöta förhållanden som periodvis kan drabba en dagvattenbädd saknas dock idag, och att förbättra det generella kunskapsläget gällande klätterväxter hade även varit att uppmuntra till ett evidensbaserat och målfokuserat växtanvändande av växtgruppen.



Skisser på klätterstödet framtaget i examensarbetet "Tredimensionella klätterväxter". Klätterstödet kan genom sin utformning anpassas efter platsens förutsättningar och klätterväxternas önskemål.

Öppna överbyggnader på kvartersmark. Västra Hamnen, Malmö

6.10 BGG-system på kvartersmark

I våra städer är det ofta flera funktioner som ska samsas på ett begränsat utrymme. Denna platsbrist visar sig såväl på allmän platsmark som på kvartersmark där exempelvis entréer, växtbäddar, cykelparkeringar, miljöhus och uteplatser konkurrerar om ytan. Även på kvartersmark kan BGG-system bidra till större yteffektivitet, flexibilitet och mångfunktionalitet.

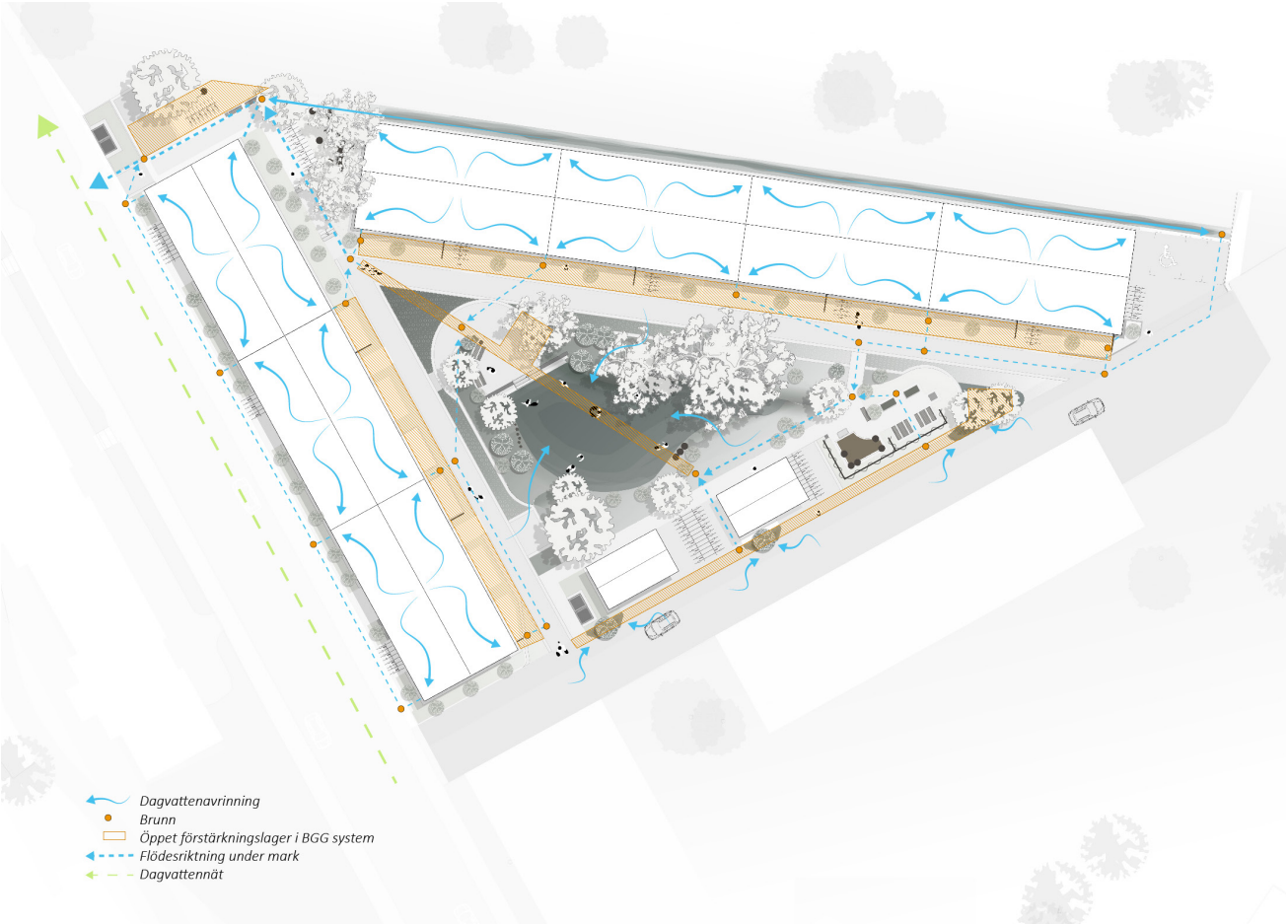
Utformning av BGG-system på kvartersmark kan behöva anpassas mot en mer mosaikartad ytdesign jämfört med ett konventionellt gaturum där utformningen ofta ger raka BGG-stråk, som kan delas in i rektangulära ytor med likartade konstruktioner. Längs med en husfasad bör BGG-systemet därför vara anpassat efter de olika mått, djup och skiftande former som ofta förekommer på kvartersmark. Beräkningar på ett BGG system utmed fasad har visat att det kan försörja vegetation med vatten trots frånvaro av nederbörd under minst två månader. Utöver detta klarar systemet att omhänderta avrinningen från ett regn på 20 mm från taket. Möjligheten att komplettera BGG-system på kvartersmark med alternativa blågröna konstruktioner är ofta mycket goda. Genom att koppla samman gröna tak, svackdiken, regnbäddar och infiltrationsstråk utan öppet förstärkningslager med BGG-system kan goda värden skapas genom hållbar dagvattenhantering och bevattning av vegetation.

I allmänhet har dagvatten från gaturummet lägre föroreningsgrad jämfört med dagvatten från kvartersmark efter som det ofta rinner från fastigheternas tak eller uppkommer på gården. Det kan dock finnas behov av rening även på kvartersmark, exempelvis från kvartersgata, parkeringsområde eller liknande.

Genom att skapa bevattnings-zoner för dagvatten finns möjlighet att minimera dricks-vattenförbrukningen för bevattning och istället utnyttja det magasinerade dagvattnet.

I anslutning till dessa ytor kan regnbäddar anläggas. Inne på kvartersgården finns det risk för trafik och kompaktering i växtbädden vilket innebär att infiltrationen kan minska och att systemet kan sättas igen. Därför bör regnbäddars placering väljas med omsorg. Finns det dessutom stora höjdskillnader och ett behov av ramar eller L-stöd för att få till det ytliga magasinet, blir det dessutom en kostnadsfråga att ta ställning till. Där reningsbehovet inte är lika stort, exempelvis inne på kvartersgården, kan konstruktionen vegetationsyta användas istället för regnbädd. Konstruktionen kan göras grundare i och med att inget ytligt magasin ska skapas, och dagvattnet kan ledas direkt ner till det öppna förstärkningslagret. Generellt sätt finns det även ett större behov av bevattningszoner på kvartersmark än i gatumiljö eftersom växtbäddarna oftast tvingas göras grundare och vara anlagda på bjälklag. Fördelning av dagvatten kan då uppnås genom att sammankoppla systemet under markyta.

Genom att skapa bevattningszoner för dagvatten finns möjlighet att minimera dricksvattenförbrukningen för bevattning och istället utnyttja det magasinerade dagvattnet.



Figur 50. Illustration över bostadsgård med BGG-system på kvartersmark
Bjurbäcken, Stockholm

Inom kvartersmark kan identifiering av avrinningsområde vara svårt eftersom husfasader kan utgöra en stor bidragande yta. Det kan därför krävas en omarbetad areaberäkning för att få en mer överskådlig yta, så att det dimensionerade flödet bättre stämmer överens med verklighet. Det bör även beaktas att vatten som faller från hög takhöjd kan orsaka erosionsskador i växtbädden om det släpps ut med utkastare. Det är inte säkert att en växtbädd kan placeras precis där stupröret finns. Vattnet kan då transporteras via en ränndal, brunn eller öppet förstärkningslager för att nå växtbädden.

Parkeringsplatser med genomsläpplig hårdgjord yta kan anläggas som en vidsträckt BGG-konstruktion under en större sammanhängande yta. Om platsen tillåter går det även att anlägga BGG-system i form av stråk längs med den vidsträckta dränerande beläggningen.

Inne på kvartersmark där det generellt är låg trafikklass är det möjligt att gå ifrån samkross och istället bara använda makadam i samtliga överbyggnader för hårdgjorda ytor. Vid användning av samma material i överbyggnader för de hårdgjorda ytorna såsom det öppna förstärkningslagret kan antal fraktioner begränsas. Genom att använda färre material och färre fraktioner kan anläggningsfel och missförstånd begränsas. Det kan även bidra till att hålla kostnaderna nere, samtidigt som ytan för upplag av material under byggprocessen kan minskas.

Vid anläggande av BGG-system på kvartersmark bör man tänka på att det dagvatten som uppkommer under byggtiden, inte bör ledas in i de öppna förstärkningslagren om det inte har renats från sediment först. Generellt sätt kan byggvattnet innehålla mycket stora mängder sediment som kan sätta igen systemet när det kommer i dessa mängder på kort tid. En rekommendation är att anlägga provisoriska ledningar under anläggning, för en temporär dagvattenhantering under byggtiden.
Att bygga innergårdar på bjälklag, till exempel ovanför ett parkeringshus, är relativt vanligt idag. Belastning och djup för BGG-system som placeras på ett bjälklag är begränsat, och styrs av vilken belastning som tillåts. Detta samtidigt som vegetationen ställer krav på växtsubstrat och tillgång till vatten. Vid projektering krävs kunskap om platsens förutsättningar, konstruktion och växtval. För att undvika risker som läckage av vatten i byggnadskonstruktionen bör systemet vara uppbyggt med rotskydd och rätt dränering för den specifika platsen. Ska dagvatten fördröjas på bjälklag är det möjligt att ersätta makadamen i BGG-systemet med pimpsten eller hasopor för att öka porositeten och minska tyngden. Härmed kan det

Figur 51. Illustration av sammanhängande stråk med öppet förstärkningslager utmed husfasad och gårdsgata.

dimensionerande djupet minskas. Vid ett större behov av magasinering av dagvatten kan dagvattenkassett användas i stället för pimpsten för att ytterligare öka kapacitet per ytenhet. Genom att använda dagvattenkassett ökar porositeten till 95–98%.

Figur 52. Illustration av enskilda konstruktioner med öppet förstärkningslager utmed husfasad och gårdsgata.

Träd i hårdgjord yta med undervegetation på kvartersmark. World Trade Center, Växjö.

Dränerande beläggning på öppet förstärkningslager med fogar av gräs på kvartersmark. Rosendal, Uppsala.

7 Dimensionering

Dimensionering av BGG-system görs utifrån kraven på systemet och platsens förutsättningar. System anpassade för maximal fördröjning av dagvatten dimensioneras annorlunda än system anpassade för maximal rening. Likaså påverkar utformningen valet av konstruktion i mark. Egenskaper som oftast beräknas är fördröjningsvolym, flödeshastigheter, tillgänglig växtbäddsvolym och reningsgrad.

7.1 Dimensionerande flöde

Det dimensionerande flödet är den mängd vatten per tidsenhet som når systemet vid ett dimensionerande regn. Det påverkas av både nederbördens intensitet och avrinningsområdets utformning. För att beräkna dimensionerande flöde behöver återkomsttid och varaktighet hos det dimensionerande regnet definieras. Kommunen och VA-bolaget kan ge riktlinjer för vilka värden som är lämpliga. Annars finns vägledning att finna i Svenskt Vattens publikation 110.

Det dimensionerande flödet används för att bestämma hur komponenter som inlopp, brunnsbeteckningar och erosionsskydd ska konstrueras samt vilken storlek på brunnar och ledningar som krävs. Flödet beräknas med formeln nedan, kallad rationella metoden.

Utifrån statistik har intensitets-varaktighetskurvor tagits fram för olika återkomsttider. Dessa visar den största intensitet av nederbörd per tidsenhet som förväntas inom en viss återkomsttid, som funktion av varaktigheten. Beroende på det dimensionerande regnets återkomsttid och varaktighet kan man alltså utläsa i en sådan kurva hur stor regnintensitet det ger upphov till. I Svenskt Vattens publikation 110 finns olika kurvor och tabeller presenterade.

Avrinningsområdets storlek och hårdgöringsgrad påverkar hur stor mängd dagvatten som når BGG-systemet. I formeln nedan används därför en avrinningskoefficient som är ett mått på hur en yta inom avrinningsområdet bidrar till ytavrinningen. Koefficientens storlek varierar mellan noll och ett där ett högre värde motsvarar högre andel avrinning. I Svenskt Vattens publikation P110 finns en tabell med värden på avrinningskoefficienter för olika ytor.

Eftersom regnstatistik bygger på historiska data används en klimatfaktor för att ta hänsyn till förväntad ökning av nederbördsintensiteten på grund av klimatförändringar. SMHI har ofta riktlinjer för vilket värde som bör användas vid dimensionerande av dagvattenanläggning.

En beräkning bör även göras avseende flödestransport i det öppna förstärkningslagret. För beräkning av flödestransport se ***Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning***, Svensk Markbetong.

Rationella metoden

dimensionerande flöde [l/s] = regnintensitet [l/s ha] · avrinningsområdets area [ha] · avrinningskoefficient [-] · klimatfaktor [-]

7.2 Tömningshastighet

BGG-system är utvecklade för att klara att vatten under korta perioder fördröjs i överbyggnaden utan att konstruktionen tar skada om den belastas med trafik. Det uppnås delvis genom att utforma systemet så att det är tömt inom 24 timmar efter dimensionerande regn, med undantag för eventuell bevattningszon (se avsnitt 6.2.5 och Figur 23). Det genomsnittliga tömningsflödet bestäms utifrån förhållandet mellan önskad tömningstid och fördröjningsvolym samt av eventuella krav på begränsad avtappning till ledningsnätet.

7.3 Fördröjningsvolym

Öppna förstärkningslager och fördröjningszoner på regnbäddar är exempel på magasin som kan fördröja dagvatten. Behovet av fördröjningsvolym i ett BGG-system kan översiktligt beräknas med regnenveloppmetoden. Denna metod tar fram en erforderlig fördröjningsvolym genom att beräkna den maximala skillnaden mellan vatten som flödar in och ut ur systemet. Volymen justeras för att ta hänsyn till både porositeten i det öppna förstärkningslagret och för terrassens lutning.

Nedan visas exempel på hur fördröjningsvolymer i BGG-system kan beräknas, både i ett magasin med öppet förstärkningslager och i en regnbädds fördröjningszon. För ytterligare information se ***Svenskt Vattens publikationer P104 och P110***, skriften ***Regnenveloppmetoden (Sjöberg 1982)*** samt ***Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning (2019)***.

7.3.1 Beräkningsexempel: magasin med öppet förstärkningslager

En enhet med öppet förstärkningslager är 25 m lång. Gatan den är anlagd i har en lutning som speglas i terrassen. När dagvatten fyller upp enheten kommer därför dess lägst liggande ände fyllas upp mer än dess högst liggande ände. I den lägst liggande änden får den vattenfyllda volymen en tvärsnittsarea på 3,7 m². I den högst liggande änden blir motsvarande tvärsnittsarea 2,3 m². Eftersom det är jämnt fall längs gatan kan man använda ett medelvärde för area i följande beräkningar. Medeltvärsnittsarean multipliceras med enhetens längd för att beräkna dess volym. Det öppna förstärkningslagret är fyllt med makadam t.ex 32/63 som har en porositet på 40%. Endast denna andel av volymen är alltså tillgänglig för vatten att fördröjas i.

För ytterligare information om fördröjlingsvolym se *Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning,* Svensk Markbetong.

$$\text{längd} \cdot \frac{\text{övre tvärsnittsarea} + \text{nedre tvärsnittsarea}}{2} \cdot \text{porositet} = \textbf{fördröjningsvolym}$$

▼

$$25\ \text{m} \cdot \frac{3{,}7\ \text{m}^2 + 2{,}3\ \text{m}^2}{2} \cdot 0{,}4 = \textbf{30 m}^2$$

▼

Fördröjningsvolymen i den aktuella enheten med öppet förstärkningslager blir alltså **30 m³**.

7.3.2 Beräkningsexempel: fördröjningszon i regnbädd

En regnbädd är 6 m lång. Dess växtbäddsyta är svagt skålformad med en botten som är horisontell. Fördröjningszonen har en medeltvärsnittsarea på 0,45 m². För att beräkna fördröjningsvolymen multipliceras längden med medeltvärsnittsarean.

längd · medeltvärsnittsarea = **fördröjningsvolym**

6 m · 0,45 m² = **2,7 m³**

Fördröjningsvolymen i regnbäddens fördröjningszon blir alltså **2,7 m³**.

Från framräknad fördröjningsvolym ska en säkerhetsvolym och volym för sediment och rötter dras bort.

7.4 Växtbäddsvolym

Tillräcklig växtbäddsvolym saknas ofta i planteringar med träd och stora buskar i urban miljö. Ett träd behöver uppskattningsvis 10-30 m³ rottillgänglig volym beroende på storlek. Utan detta ges inte förutsättningar att växa normalt och utvecklas till ett friskt och vackert träd med höga resilienta värden. Bristande växtbäddsvolymer gör att trädet tvingas söka efter vatten och näring utanför växtbädden eller förbli underutvecklat och en potentiell risk för omgivningen.

7.4.1 Beräkningsexempel: växtbäddsvolym

I en plantering på öppet förstärkningslager växer tre träd. Planteringen ligger på ett stråk av öppet förstärkningslager som är 25 m lång. Trädens rötter har möjlighet att växa inom hela stråket. Den rottillgängliga volymen utgörs alltså både av växtsubstrat och öppet förstärkningslager. Tvärsnittsarea för dessa lager är 3,6 m². Totalt har träden alltså tillgång till en volym på:

längd · tvärsnittsarea = **växtbäddsvolym**

25 m · 3,6 m² = **90 m³**

Detta motsvarar en **växtbäddsvolym** på **30 m³** per träd inom BGG-systemet, volym som både är väl syresatt och har tillgång till vatten.

7.5 Reningsgrad

Den största dagvattenrenande effekten uppnås i regnbäddar. Där behandlas vattnet med filtrering, sedimentering, adsorption och upptag av växter och mikroorganismer. Regnbäddar bör ha en yta motsvarande 2–10% av avrinningsområdets yta för att ha tillräcklig kapacitet och samtidigt vara ekonomiskt försvarbara. Om de är anslutna till ett sammanhängande stråk av öppet förstärkningslager räcker det med 2–5% av avrinningsområdets yta. Då kan ytterligare rening ske i det öppna förstärkningslagret.

Den uppnådda reningsgraden beror i stor utsträckning på vilka föroreningar det rör sig om och kommer sig av hur stadsrummet är utformat och belastat. Fullständig dimensionering med avseende på rening faller utanför ramen för den här handboken. Istället rekommenderas simuleringsprogram som har information om typiska föroreningshalter och reningsförmågor eller Svenskt Vattens rapporter *Kunskapssammanställning dagvattenrening* och *Dimensionering av biofilter och regnbäddar för dagvattenrening*. Stockholm vatten och avfall 2021.

7.6 Trädens vattenbehov

Lindsey & Bassuk har tagit fram en formel som ofta används för att beräkna ett träds vattenförbrukning. Genom att beräkna relationen mellan trädets kronprojektion (KP) och bladareaindex (LAI (leaf area index)) samt med information om den potentiella avdunstningen kan trädets dagliga vattenförbrukning (DVF) uppskattas. Kronprojektionen avser area under trädets dropplinje och beräknas oftast som arean för en cirkel. LAI är en beskrivning av hur stor den samlade bladarean för ett specifikt träd är i relation till arean av trädkronan.

Exempelvis säger ett LAI på 3 att det för varje kvadratmeter kronarea finns 3 kvadratmeter bladarea. Indexet varierar mellan 1 och 12 men ett värde på 4 kan ses som ett relevant maximum då värden över detta höjer trädkronans interna luftfuktighet som i sin tur motverkar ytterligare avdunstningshöjning. För pelarformiga träd är dock en höjning till 5–6 relevant på grund av trädkronans utformning. Anläggs vegetationsytan med undervegetation i form av marktäckare och lägre buskar bör LAI kompenseras för detta och justeras upp till 5.

Avdunstningsfaktorn, k, tar i beaktning den verkliga avdunstningen i relation till den potentiella avdunstningen från en vattenyta. De fastställde under optimala transpirationsförutsättningar denna faktor till 0,3.

Ekvation för ett träds dagliga vattenförbrukning

$$DVF = KP \cdot LAI \cdot PE \cdot k$$

De påpekar samtidigt att den verkliga avdunstningen minskar med ökad storlek på trädkronan och redan för trädkronor > 1,2 m^2 så är avdunstningsfaktorn nere på 20% av den verkliga avdunstningen. Den beräknas kunna minska ytterligare för ännu större träd då den interna lövskuggningen ökar.

Lindsey & Bassuk har även tagit fram ett sätt att beräkna en adekvat växtbäddsvolym genom att fokusera på trädens vattenbehov. Trädens dagliga vattenförbrukning beräknas enligt föregående ekvation.

Det krävs minst ca 2,5 mm nederbörd innan interceptionslagret är fullt och att växtbädden ska kunna börja tillgodogöra sig nederbörden och återfylla jordens porer med vatten. Beräkningsmetoden kräver kunskap om den mängd växttillgängligt vatten (VTV) som substratet kan hålla, nederbördsfrekvensen (NF), dvs. det intervallet mellan en given nederbördsmängd, samt den dagliga vattenförbrukningen (DVF).

Metoden är välbeprövad och går att anpassa till det klimat som råder där växtbädden planeras. Några svagheter i beräkningen är antagandet om att växtbädden kommer återfyllas helt av enbart nederbörd vid ett givet intervall, vilket inte alltid är fallet, samt användandet av medelvärde på evapotranspiration.

Ekvation för ett träds växtbäddsvolym utifrån vattenbehov

$$Växtbäddsvolym = DVF \cdot NF / VTV$$

DeGaetano har utvecklat en metod för att beräkna hur stor växtbäddsvolym ett träd behöver för att inte utsättas för vattenbrist under en given återkomstperiod. Han utvecklade Lindsey & Bassuks beräkning och genomförde i sin studie, simuleringar med klimatdata för att se hur ofta träd utsätts för vattenbrist under en viss tidsperiod. I den nya modellen har de tagits hänsyn till att trädens dagliga vattenförbrukning avtar med minskad markfuktighet och därför lagt till en justeringsfaktor till ekvationen för ett träds växtbäddsvolym utifrån vattenbehov

Justeringsfaktor beror av det växttillgängliga vattnet som återfinns i jorden, varje enskild dag. I metoden ansätts 10% av det växttillgängliga vattnet som gräns för då marken anses så uttorkad att det skadar trädet, men träden kan ta skada innan denna gräns.

En växtbädd som klarar 12 dagar utan vattentillskott, torkar ut fem gånger under en 10-årsperiod, vilket då motsvarar en återkomstperiod på 2 år. I studien undersöktes även vilken volym växtbädden behöver ha för att den endast ska torka ut en gång under en given tidsperiod, resultatet kan ses i tabell 12 på nästa sida.

Resultaten kommer utifrån simuleringar gjorda med meteorologiska data från Boston, Massachusetts, USA. Simuleringarna bygger på att endast ett träd återfinns i växtbädden och det har heller inte tagits hänsyn till eventuell ytavrinning som leds till växtbädden, utan växtbädden tillskaffas vatten enbart genom nederbörd. I simuleringarna har mängden växttillgängligt vatten antagits motsvara 15% av växtbäddens volym.

Resultaten visar att en kvot mellan volymen växtbädd och trädets kronprojektion på ungefär 0,2 m^3/m^2, resulterar i att växtbädden kommer torka ut i genomsnitt vartannat år. Men bara genom att öka denna kvot till ungefär 0,33m^3/m^2 så ökas återkomstperioden till 50 år.

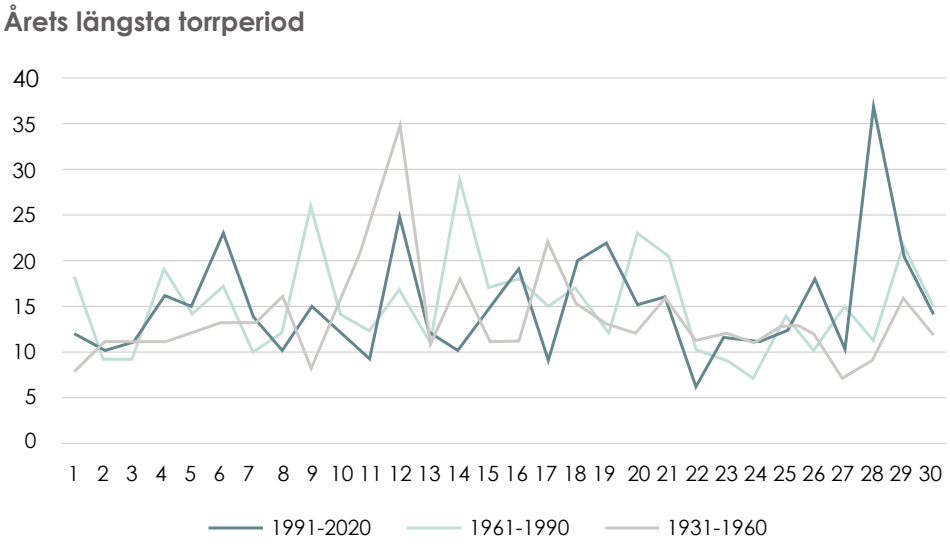
Träden i BGG-system kan ha bättre möjlighet till återhämtning vid kortare skurar och mindre regn, då avrinningen aktivt styrs till systemet, vilket gör dem mindre känsliga vid längre perioder av torka. Hur ofta torrperioder av en viss längd återkommer har fått lite uppmärksamhet i samhället. Sverige har i ett internationellt perspektiv varit relativt förskonade mot kraftig torka.

För Uppsala har den genomsnittliga torrperiod under vegetationsperioden, för perioden, 1931-2020, varit i genomsnitt ca 15 dagar lång. Längden på torrperioderna varierar relativt kraftigt mellan åren, däremot har den längsta torrperioden varit nära eller över 30 dagar lång för var och en av de tre normalperioderna, se figur 53.

Det kan dock vara mer relevant att studera hur frekvent en viss längd på torrperiod har inträffat historiskt, se figur 53. För normalperioden 1931–60 inträffade torrperioder som var minst 10 dagar långa vid 45 tillfällen, för 1961-90 och 1991-2020 var antalet tillfällen 53 respektive 63. Vilket skulle kunna tyda på en trend där längre torrperioder blivit mer frekventa. De riktigt långa torrperioderna som varar 15 dagar eller längre, är dock ovanliga och för den senaste normalperioden utgjorde de bara ungefär 5% av tillfällena, vilket är något mer än för de tidigare perioderna.

Krondiameter [m]	Volym för given återkomstperiod [m^3]				
	2 år	**5 år**	**10 år**	**25 år**	**50 år**
2	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8
4	2,5	3,1	3,6	3,9	4,2
6	5,4	7,1	8,1	8,8	9,3
8	9,6	12,5	14,1	15,6	16,5

Tabell 12. Växtbäddsvolymer i m^3 förolika stora träd för given återkomstperiod då växtbädden torkar ut utan bevattning. De redovisade värdena i tabellen är resultat hämtade ifrån DeGaetano (2000)



Figur 53: Antal dagar för den längsta sammanhängande torrperiod för perioden april-september. Sammanställning av data hämtade för mätstation Uppsala Aut (SMHI u.å.[c]).

8 Fördjupning

I det här kapitlet kommer vi gå in på fördjupning och breddning av olika aspekter av BGG-system. Fördjupningen kommer att beröra både planprocess och detaljprojektering av BGG-system.

8.1 Beräkningar

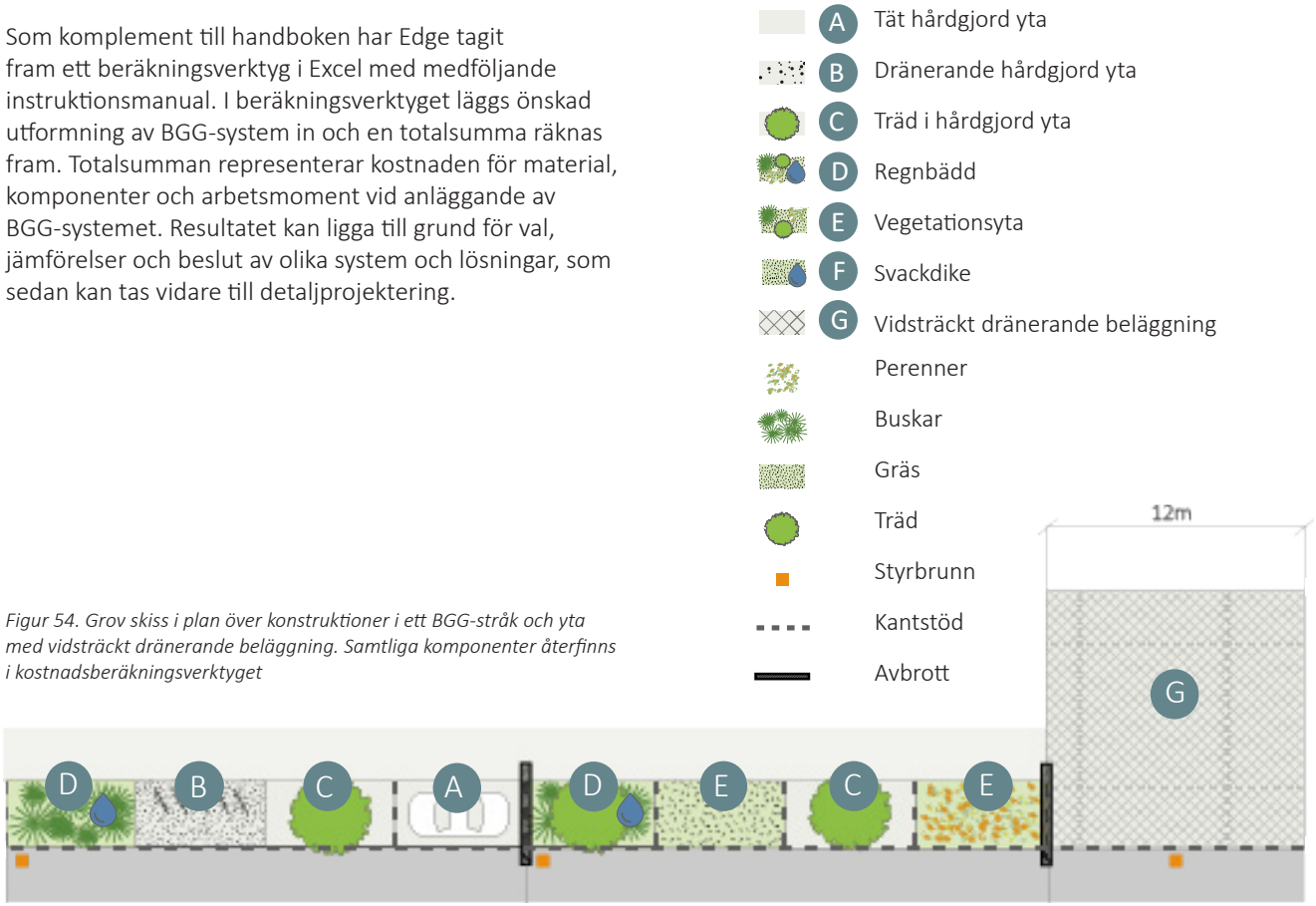
För de flesta projekt är en kostnadsuppskattning till stor nytta i de tidiga skedena. Men att klimatberäkna sina projekt blir än viktigare

8.1.1 Kostnadsberäkning

BGG-system är ett mångfunktionellt system där flera infrastrukturer samsas i samma yta. Att då enbart jämföra BGG-system med konventionella gator ger en missvisande kostnadsbild. Detta eftersom BGG-system även renar och fördröjer dagvatten samt skapar goda förutsättningar för stadsgrönska, vilket i sin tur är förknippat med stora värden i form av flertalet ekosystemstjänster. Genom att samutnyttja utrymmen kan BGG-system skapa fler nyttor men mer kostnadseffektivt än om samma funktioner skulle anläggas separat.

Att BGG-system är mångfunktionella bör även beaktas i diskussioner kring kostnadsfördelningen mellan park, gata och VA-bolag för anläggandet. Fördröjning av dagvatten och eventuell kolsänka kan spara kostnader och göra stor nytta i andra områden kopplade till urbant byggande. Exempelvis kan ett BGG-system spara in flera tusen kr per fördröjd kubik dagvatten. Det är en generell uppskattning för vad det skulle kosta att anlägga rör- och kassettmagasin för att fördröja samma mängd vatten. Samma resonemang bör hållas avseende den reningseffekt och andra ekosystemstjänster som ett BGG-system kan bidra till.

Som komplement till handboken har Edge tagit fram ett beräkningsverktyg i Excel med medföljande instruktionsmanual. I beräkningsverktyget läggs önskad utformning av BGG-system in och en totalsumma räknas fram. Totalsumman representerar kostnaden för material, komponenter och arbetsmoment vid anläggande av BGG-systemet. Resultatet kan ligga till grund för val, jämförelser och beslut av olika system och lösningar, som sedan kan tas vidare till detaljprojektering.

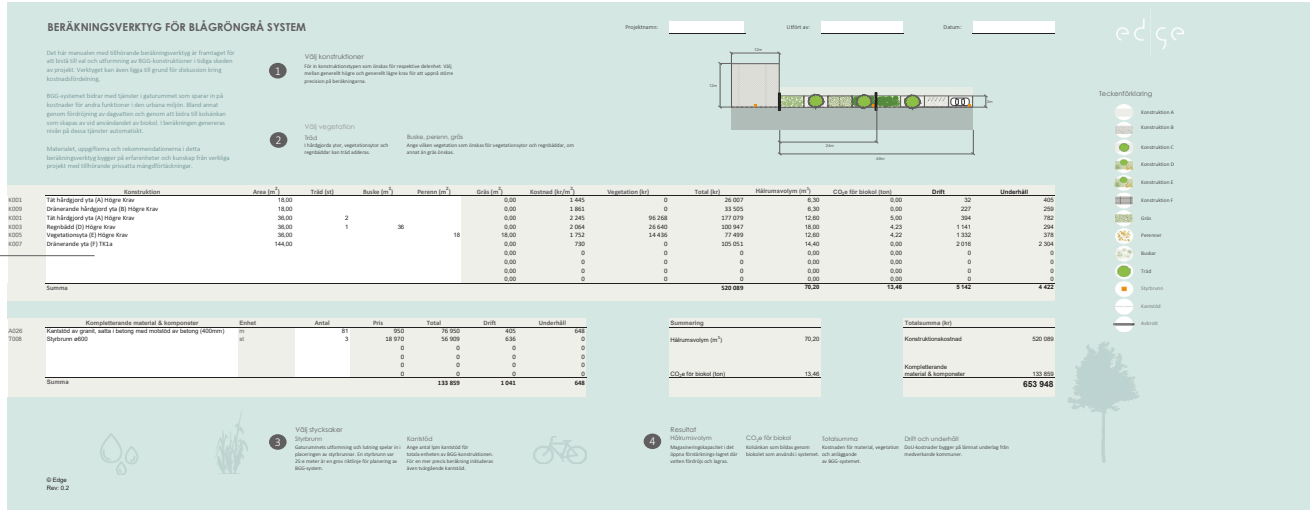


Figur 54. Grov skiss i plan över konstruktioner i ett BGG-stråk och yta med vidsträckt dränerande beläggning. Samtliga komponenter återfinns i kostnadsberäkningsverktyget

Verktyget beräknar förutom anläggningskostnaden även drift- och underhållskostnad, hålrumsvolym hos systemet samt det bidrag till kolsänka som eventuell biokol kan generera. Det enda som krävs av användaren är inmatning av önskad utformning av BGG-systemet och dess areor samt längd på kanstöd och antal styrbrunnar. Edge har för avsikt att fortsätta utveckla beräkningsverktyget genom att komplettera med klimatberäkning och fler konstruktioner och system för kostnadsjämförelse.

För mer information om beräkningsverktyget se https://bluegreengrey.edges.se/

Figur 55. Utdrag från beräkningsverktyget. Värden från exempelskissen är inlagda för konstruktion och vegetation.



Konstruktion	Area (m²)	Träd (st)	Buske (m²)	Perenn (m²)	Gräs (m²)	Kostnad (kr/m²)	Vegetation (kr)	Total (kr)
Tät hårdgjord yta (A) Högre Krav	18,00				0,00	1 445	0	26 007
Dränerande hårdgjord yta (B) Högre Krav	18,00				0,00	1 861	0	33 505
Tät hårdgjord yta (A) Högre Krav	36,00	2			0,00	2 245	96 268	177 079
Regnbädd (D) Högre Krav	36,00	1	36		0,00	2 064	26 640	100 947
Vegetationsyta (E) Högre Krav	36,00			18	18,00	1 752	14 436	77 499
Dränerande yta (F) TK1a	144,00				0,00	730	0	105 051
					0,00	0	0	0

Figur 56. Utdrag från beräkningsverktyget. Värden från exempelskissen är inlagda för konstruktion och vegetation.

8.1.2 Kostnad per fördröjd m³

Ett sätt att jämföra olika system och konstruktioner är att summera ihop alla kostnader för material och komponenter som behövs och sedan dela med fördröjningsvolymen som genereras. På så sätt uppnås kostnaden per fördröjd m³ för en anläggning. För ett BGG-system är kostnaden per fördröjd m³ olika beroende på var den skapas och vilka material som ingår i systemet. I figur 57 kan det utläsas att kostnaden varierar från ca 1000:-/m³ till ca 6000:-/m³. Kostnaden kan sedan användas för att jämföra med en alternativ konstruktion eller system. Som jämförelse kan t.ex ett rör- kassettmagasin kosta ca 6000-8000:-/m³. Kostnader bygger på prisläget som var 2021. Ovan beräkningssätt kan bli lite missvisande i och med att kostnader bara slås ut på en funktion och i detta fall fördröjning. Ett bredare resonemang kring vilka övriga funktioner som genereras behöver också utföras.

Figur 57. Kostnad per fördröjd m³ dagvatten vid olika utförande av BGG-system. Kostnadsläge 2021.

Rör-/kasettmagasin.
Ca 6000-8000 inkl. brunnar.

Öppet förstärkningslager i stråk utanför ordinarie överbyggnad för hårdgjord yta.
Ca 2500- 3000:- inkl. brunnar.

Öppet förstärkningslager med biokol.
Ca 4000- 6000:-

Öppet förstärkningslager i stråk inom ordinarie överbyggnad för hårdgjord yta. Ca 1000 - 1500:- inkl. brunnar.

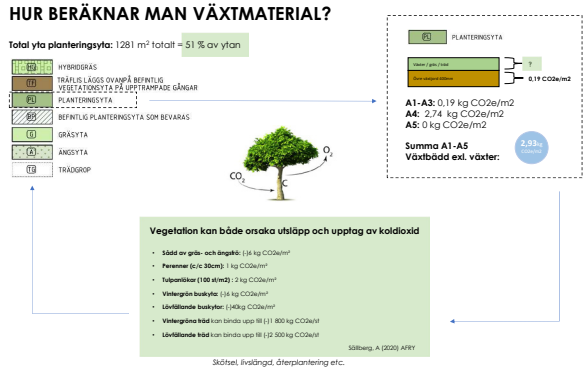
Figur 19. Bild: LFM30

8.1.3 Klimatberäkning

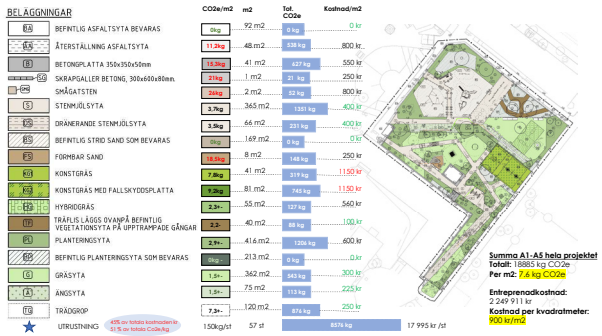
LFM30 är en branschdriven lokal färdplan för en klimatneutral bygg- och anläggningssektor år 2030. LFM30 arbetar för att påskynda bygg- och anläggningssektorns klimatomställning och genomförande av Agenda 2030. Som en del i detta arbete klimatberäknas projekt vilket LFM30 utvecklar och lär ut till sina medlemmar.

Ambitionen är att kostnadsberäkningsverktyget (se kapitel 8.1.1) utöver nuvarande funktioner även ska beräkna det klimatavtryck som ett BGG-system kan ge upphov till i CO_2e. Utsläppen av CO_2e ska sedan jämföras med den kolsänka som valt BGG-system kan generera genom användandet av biokol och vegetation. På så vis beräknas systemets nettovärde avseende klimatavtryck. Biokol och vegetation ses inom LFM30 som viktiga kolsänkor för att klimatkompensera anläggningars CO_2e utsläpp.

Ytterligare en utvecklingsmöjlighet för verktyget är att addera information om hur hålrumsvolym och storlek på växtbäddar är kopplat till växttillgängligt vatten under torka. Dessa faktorer påverkar ett träds tillväxt och möjlighet att nå sin fulla potential. För att så stora kolsänkor som möjligt ska genereras kräver träd rätt förutsättningar att växa till sig. Detta går hand i hand med hur ett BGG-system är uppbyggt, då förutsättningar skapas genom stor hålrumsvolym samt genom möjligheten att styra hur vattnet leds in i och inom systemet.



Figur 58. Beräkning av klimatavtryck från växtmaterial. Framtaget av Edge under LFM30 klimatberäkningsstuga.



Figur 59. Klimatberäkning av Mellanhedsskolan. Framtaget av Edge under LFM30 klimatberäkningsstuga.

8.2 BGG-Pussel

Som ett komplement till handboken finns ett illustrationsverktyg: BGG-pusslet. Huvudmålet är att i ett inledande skede av ett projekt kunna bygga upp illustrationer över BGG-system. BGG-pusslet är gjort i Powerpoint så det behövs inga förkunskaper inom ritprogram som AutoCAD eller liknande, utan tanken är att BGG-pusslet ska vara tillgängligt för så många som möjligt som arbetar med stadsplanering.

För att arbeta med BGG-pusslet väljs först en grundmall ut som längdsektion, plan eller tvärsektion. I verktygslådan medföljer tre exempel att använda som bakgrundsbilder, men de kan bytas ut till egna varianter om man har det.

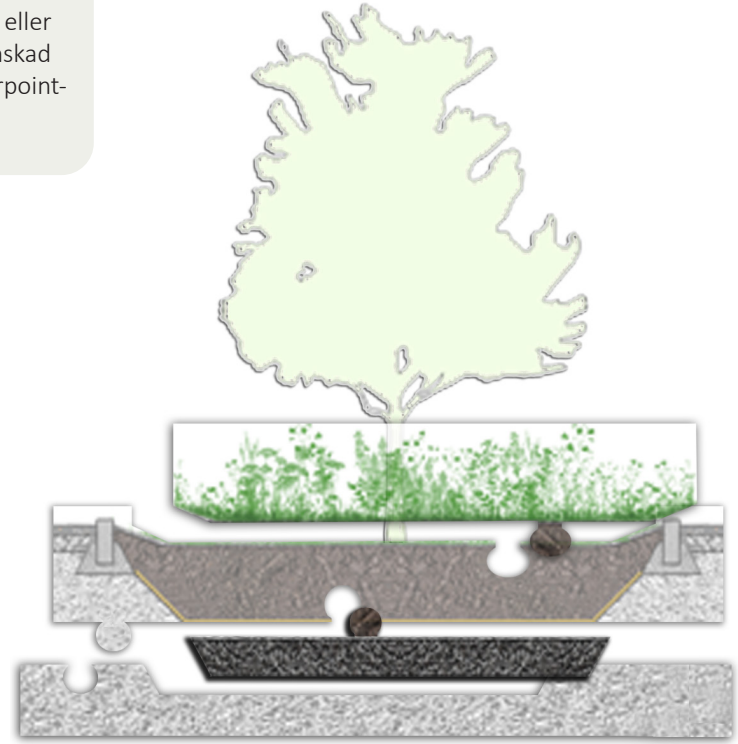
Förslag på tillvägagångssätt:

- Justera grundmallens pusselbitar och flexzon avseende bredd och avstånd och lägg till cykelbana om så önskas.
- Välj och placera ut konstruktioner/ytskikt i flexzon
- Välj och placera ut avbrott, brunnar & övriga komponenter
- Komplettera med vegetation och övriga illustrationer
- Pusselbitar kan behöva beskäras, ändra lutning eller placeras i olika ordningar på varandra för att önskad utformning ska kunna redovisas. Använd Powerpoint-verktyget för detta.

För mer information om BGG-pusslet se https://bluegreengrey.edges.se/

Figur 60. Principplan och längdsektion uppbyggd med hjälp av BGG-pusslet.

Figur 61. Välj bland komponenter, vegetation och illustrationer.

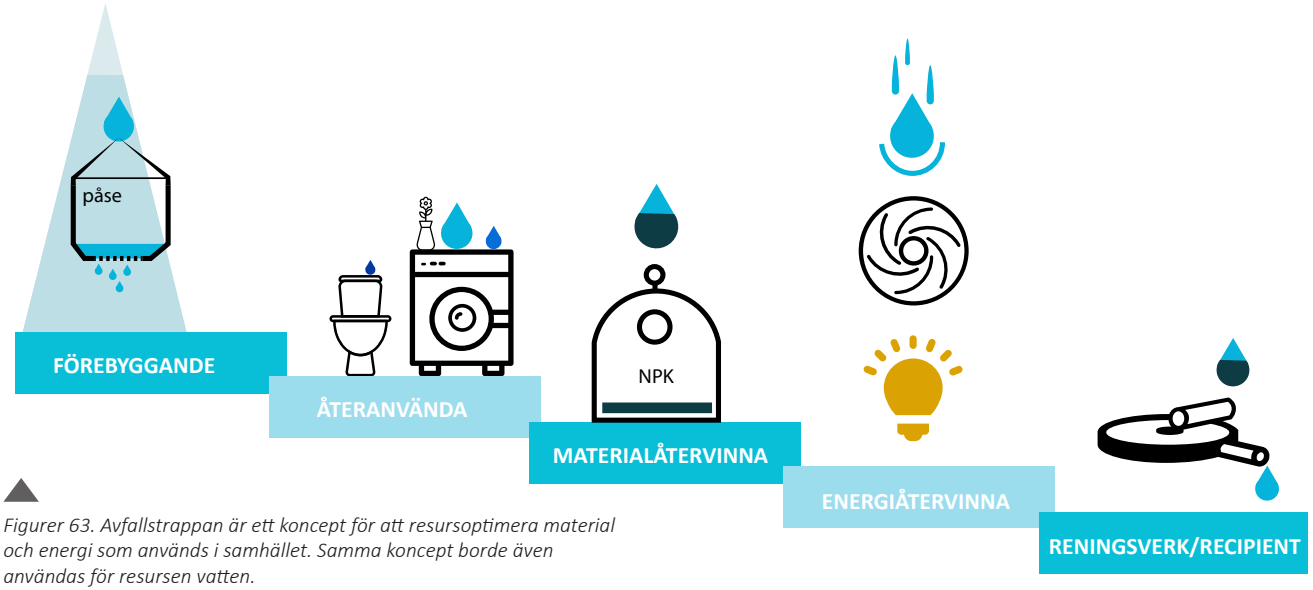


Figur 62. Illustrera önskat utförande av BGG-system på bara några klick.

8.3 Stadsvatten - fördjupning

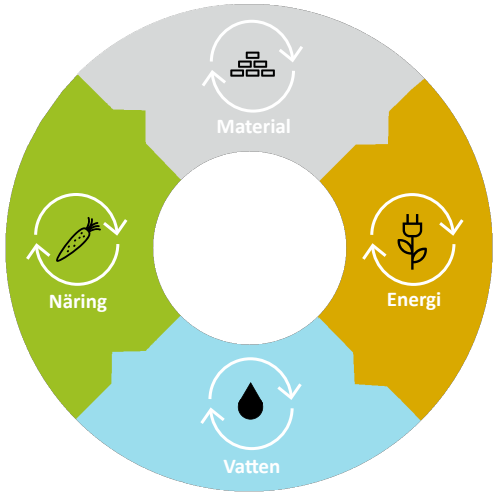
Idag konsumeras de flesta resurser, så som material och energi, i ett linjärt flöde. Naturresurser utvinns, produceras, konsumeras och kasseras. Det finns dock exempel på cirkulära materialflöden. För de flesta har det blivit en självklarhet att källsortera och återvinna sitt avfall vilket bygger på ett koncept kallat avfallstrappan (resursoptimeringstrappan). Avfallstrappan är en princip med målet att skapa ett cirkulärt flöde av resurser genom att arbeta i flera steg med förebyggande åtgärder, återanvändning och återvinning av material som plast, glas och metaller m.m.

Människans bruk av vatten är nästan alltid linjär. Vattnets kretslopp, den hydrologiska cykeln, är däremot naturligt cirkulär. Dagens konventionella vattensystem skickar vatten från täkt till vattenreningsverk och sedan till byggnader. Sedan används vattnet av många olika aktörer till en mängd olika ändamål. Efter användning spolas det ned i avlopp eller brunnar, eller infiltreras ned i marken. Vattnet som kategoriseras som avloppsvatten, det vill säga det mesta spillvattnet från byggnader, leds direkt till regionalt reningsverk för behandling. Spillvattnet renas och leds direkt ut i recipienten. Dagvatten leds också iväg, antingen till en renings- och fördröjningsanläggning eller rätt till recipienten utan någon som helst användning. För att optimera vattnets potential i samhället och minska dess negativa påverkan till följd av det linjära vattensystemet, så som översvämningar, vattenbrist och höga kostnader för infrastruktur, kan avfallstrappans princip och tankesätt appliceras även på resursen vatten för ett cirkulärt vattenanvändande.



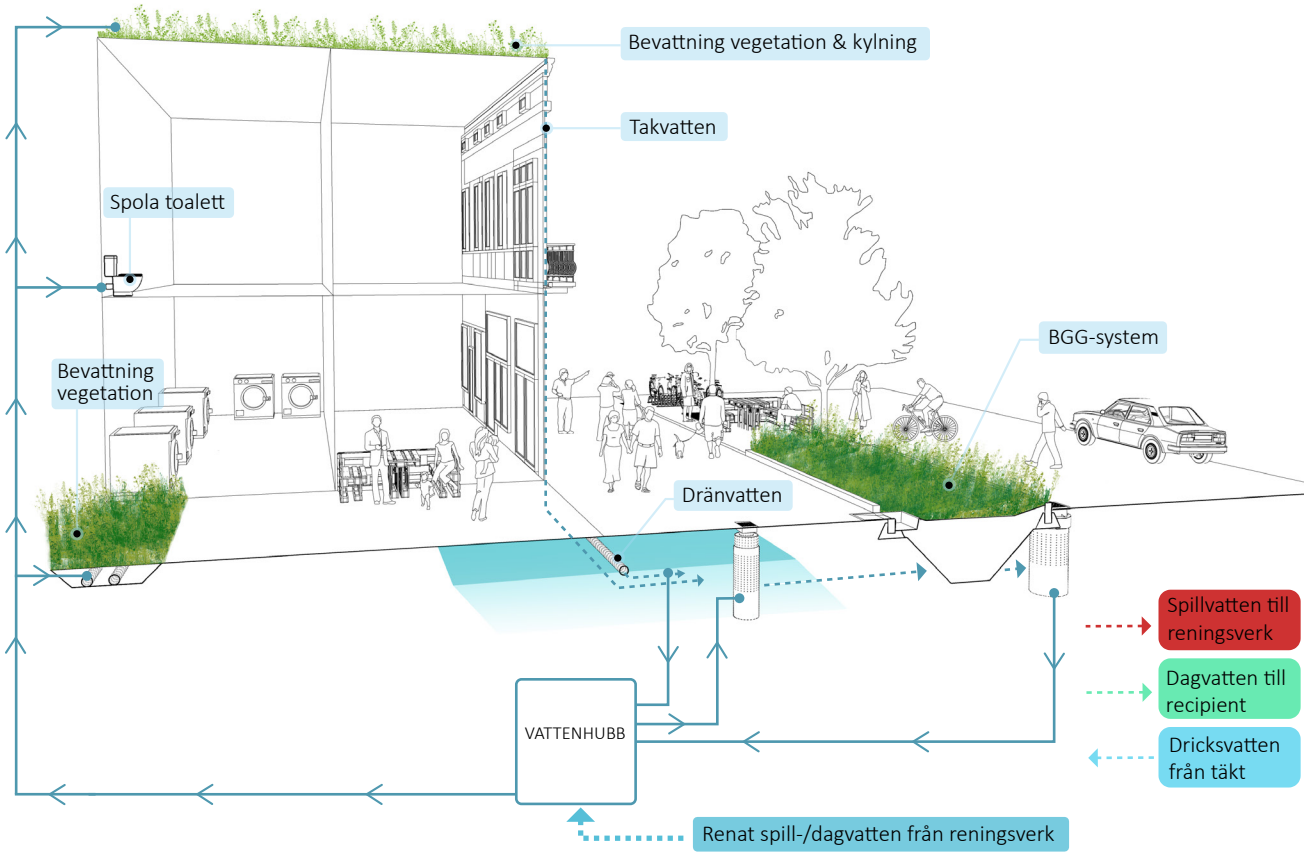
Figurer 63. Avfallstrappan är ett koncept för att resursoptimera material och energi som används i samhället. Samma koncept borde även användas för resursen vatten.

Illustrerar principen för ett samhälle som bygger på cirkulära material och energiflöden där vatten kommer bli en viktig resurs att cirkulera.



Förebyggande - Resursoptimering av vatten enligt avfallstrappan kräver förebyggande arbete. I detta fall skulle ett förebyggande arbete innebära att minimera förbrukningen av dricksvatten och uppkomsten av spill- och dagvatten och då även föroreningar i dem. Detta kan göras genom uteslutande av vatten i processer, snålspolande armaturer och munstycken, bevattningsförbud och beteendeförändringar kopplade till vattenanvändande. Genom naturbaserade lösningar så som gröna tak, vegetationsytor och dränerande beläggning kan uppkomsten av dagvatten minska.

Figur 64. Användning av dränvatten för lokal bevattning och nyttjande där drickvattenkvalitet inte krävs.



Dränvattenvolymen från en villatomt där grundvattenytan sänks en meter kan bli mellan 0,4–60 m³ per dygn.

Återanvända - Dricksvattnet från reningsverket används inte alls i stor utsträckning till att faktiskt dricka. Finns det då ett behov av att allt vatten ändå uppnår dricksvattenkvalitet? Olika sorters vatten kan produceras och användas till olika ändamål. Istället för att fortsätta utöka sötvattenuttaget, speciellt på platser där det råder stor brist, skulle vattenrening och -användning kunna matcha användarnas behov för att på så sätt säkerställa samhällets vattentillgångar. Allt vatten bör ses som en resurs och ska återanvändas så många gånger som möjligt innan utsläpp till recipient – med så korta avstånd som möjligt.

Trappstegen återvinna och återanvända skulle exempelvis vara att använda drän- och dagvatten till att spola toaletter, bevattna vegetation, kyla byggnader och spola rent parkeringsgaragedäck mm. Alltså olika behov där inte dricksvattenkvalitet är nödvändig. Exempelvis skulle renat dag- och spillvatten (det vi kallar Stadsvatten) från lokala eller regionala reningsverk kunna användas. Ett tänkbart framtidsscenario kan vara att man har två inkommande vattenfraktioner (dricksvatten & Stadsvatten) som distribueras ut i samhället och integreras med sk. vattenhubbar inom eller nära fastigheten.

Ett flöde som idag bara leds bort är dränvatten från byggnader. Det påminner om grundvatten kvalitetsmässigt, har ett kontinuerligt flöde och kan i samband med omgrävning eller nybyggnation relativt enkelt samlas upp för återanvändning. Volymen dräneringsvatten som i dag leds till VA-nätet kan vara väldigt stor och kan på årsbasis överstiga både spill- och dagvattenvolymer. Dränvattenvolymen från en villatomt där grundvattenytan sänks en meter kan bli mellan 0,4–60 m³ per dygn. Genom att ansluta dränvattnet till BGG-system istället för det traditionella VA-nätet skulle det lämna plats i nätet, inte blandas ut med föroreningar från andra fraktioner utan användas lokalt i sin befintliga ofta goda vattenkvalitet. För exempel se figur 64.

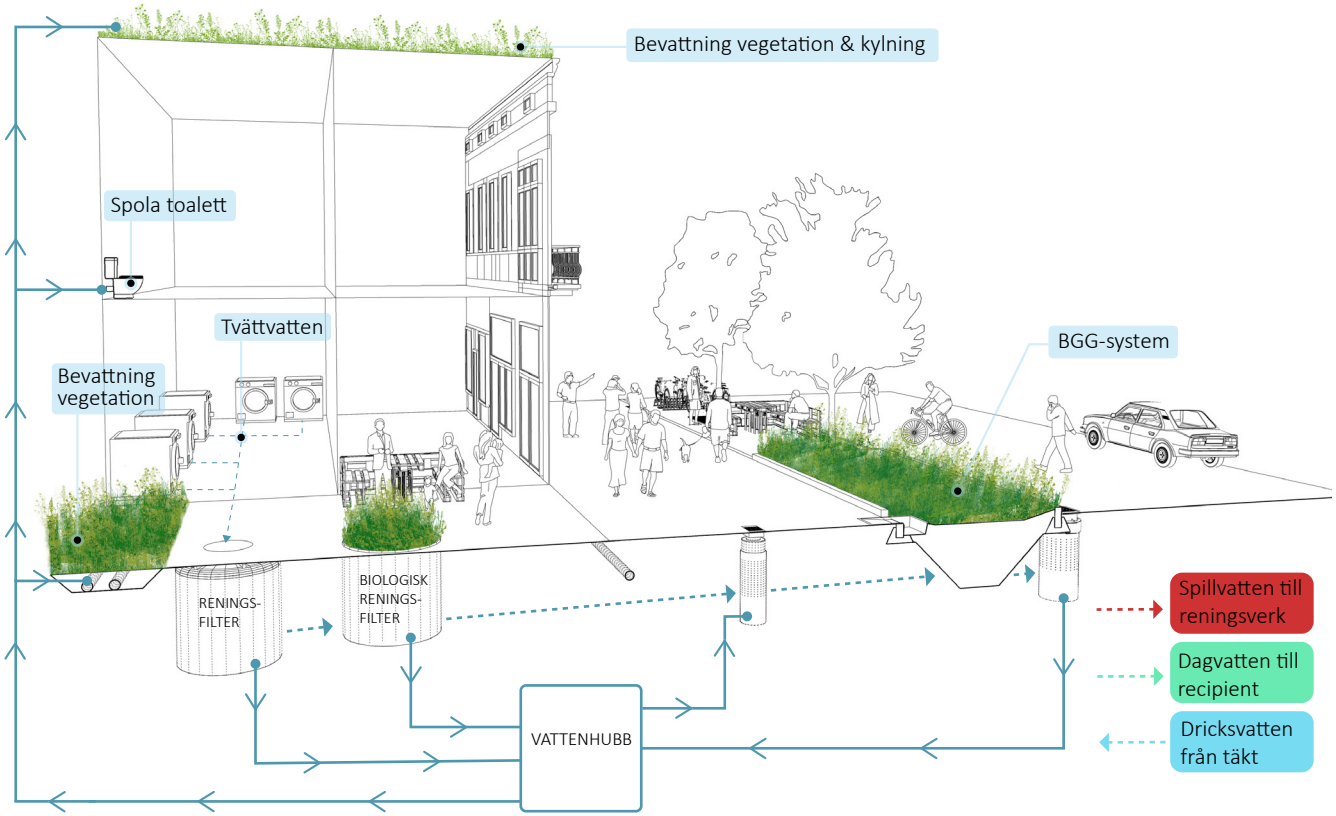
Återanvändning av gråvatten är en annan intressant och växande idé, men det möter praktiska problem eftersom det är svårt att skilja från toalettvatten i befintliga fastigheter och dels är ganska förorenat. Det finns dock en fraktion gråvatten som relativt enkelt kan avledas till annan användning, nämligen tvättstugevatten.

Tvättstugevattnet kan motsvara 10% av dricksvattenförbrukningen. Från en trappuppgång i ett flerfamiljshus kan vattenmängden bli 1 m^3 per dygn. Magasinering av exempelvis drän- och renat dag- och tvättvatten i s.k. vattenhubbar är ett exempel på system för att nå en jämnare tillgång av vatten för bevattning, kylning, spolning av toaletter och andra behov som inte kräver vatten av dricksvattenkvalitet, för exempel se figur 65. Även duschvatten skulle kunna separeras från spillvattnet och ledas till BGG-system efter rening.

Materialåtervinna - I dagvattnet kan det finnas betydande mängder organiskt material och näringsämnen som skulle kunna återvinnas och göras tillgänglig för vegetationen genom bevattning. För exempel se figur 66.

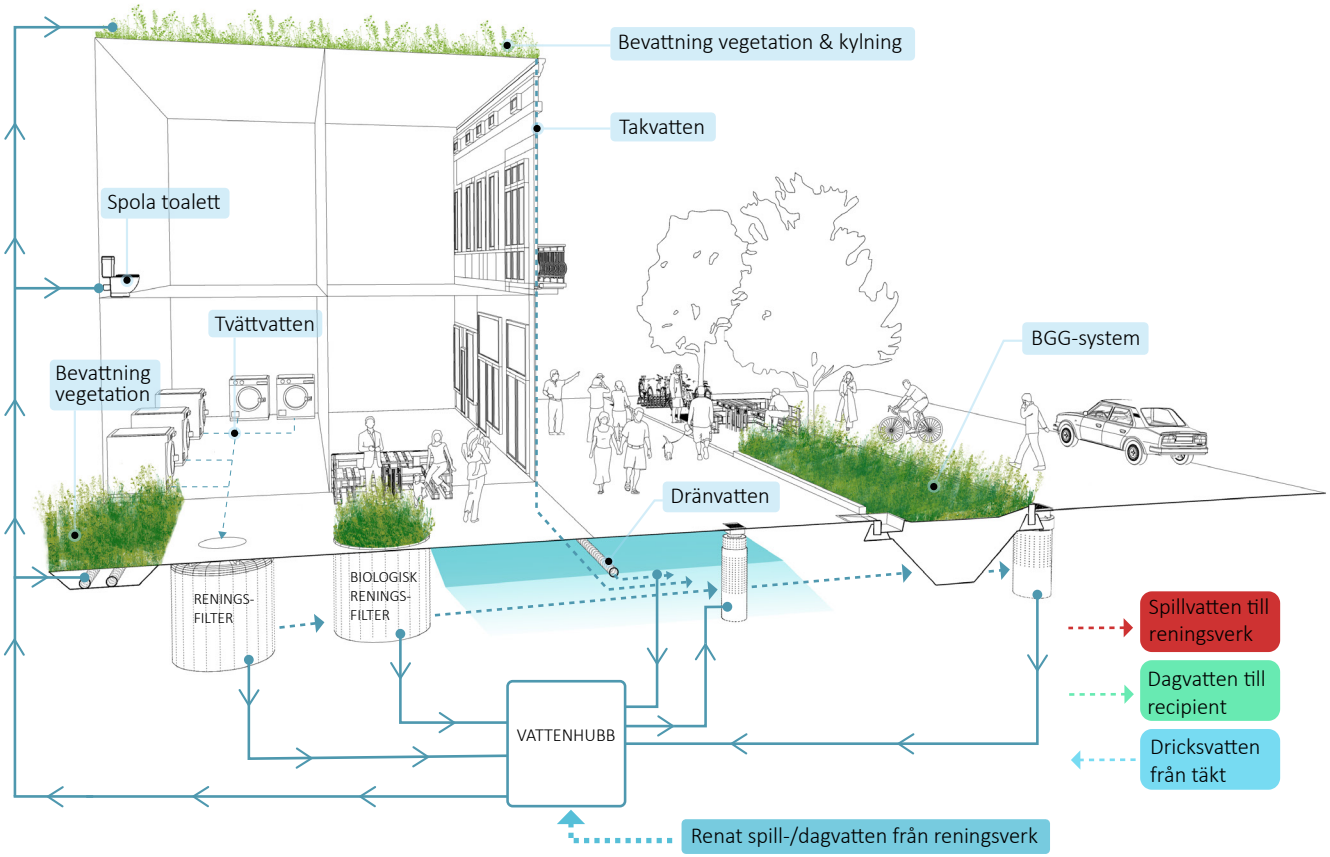
Energiåtervinna - Spillvatten som lämnar våra fastigheter kan innehålla mycket värmeenergi. Istället för att låta den gå med spillvattnet från fastigheten skulle energin kunna återvinnas inom fastigheten.

Reningsverk/recipient - Genom små förändringar kan vi kraftigt reducera den mängd vatten som behöver ledas in och ut ur ett område och till slut kommer till recipienten eller reningsverket och därmed även behovet av infrastruktur. Genom en integrerad återanvändning av Stadsvatten kan vattenverk, reningsverk och ledningsnät avlastas.



Figur 65. Användning av tvättstugevatten för lokal bevattning och nyttjande där drickvattenkvalitet inte krävs.

Tvättstugevattnet kan motsvara 10% av dricksvattenförbrukningen. Från en trappuppgång i ett flerfamiljshus kan vattenmängden bli 1 m^3 per dygn.



Konceptet Stadsvatten bygger på följande principer:

- Allt vatten bör ses som en resurs och ska återanvändas så många gånger som möjligt innan utsläpp till recipient – med så korta avstånd som möjligt.
- Minimera tillflöde och utflöde till fastigheten – självförsörjning av vatten så långt det är möjligt.
- Börja med det minst förorenade vattnet.
- Rena vattnet till den nivå som krävs för vald användning – varken mer eller mindre – och använd robust blågröngrå teknik.
- Kontinuerliga flöden har bäst potential till varaktiga nyttor.
- Identifiera synergier och mångfunktionella installationer på kvarters- och allmän platsmark.

Figur 66. Exempel på hög nivå av konceptet Stadsvatten inkorporerat med BGG-system.

8.4 Utmaningar

I texten nedan jämför vi BGG-system med det traditionella sättet att bygga stadsrum, dvs. ett stadsrum där den blå, gröna och grå infrastrukturen inte samarbetar utan dagvattnet leds direkt till recipienten via brunnar och ledningar.

PROJEKTERING

BGG-system kräver mer av projektören då kunskap om både ens eget område och övriga teknikområden krävs. Dessutom är samarbete med övriga teknikområden nödvändigt för att säkerställa att volym (magasinskapacitet och växtbäddskapacitet) inte tas i anspråk av övriga teknikområden. Detta kan exempelvis gälla vid kringfyllnad för fundament till belysningsstolpar och vägmärkesstolpar, korsande ledningar mm.

Korsande ledningar som medför avbrott i det öppna förstärkningslagret skulle kunna medföra stora komplikationer i systemet, därav är samordning av ledningar av stor vikt. Detsamma gäller kringfyllnad för fundament om sektionen för BGG-systemet är smalt.

Projektering av BGG-system bör ske i 3D för att förebygga problem. Befintliga program är utformade för traditionellt utförande vilket försvårar 3D projektering av BGG-system, i och med detta görs få projekteringar i 3D.

DRIFT

Erfarenheter av att drifta och underhålla BGG-system sträcker sig några år tillbaka. Som enskilda konstruktioner är dock erfarenheten mycket större och sträcker sig hela 5–30 år. Förutsättningar för vegetation i BGG-system är bättre än i traditionella vegetationsytor i torg, parkeringsområden och gatumiljö, vilket leder till en ökad tillväxt. Drift av vegetation i BGG-system liknar drift av övriga vegetationsytor.

I en del kommuner får driftspersonalen gå en kort utbildning innan de börjar sköta BGG-system vilket ger en större trygghet hos personalen och säkerställer systemens funktion. Drift av VA-komponenter (brunnar, ledningar & dagvattentunnlar) förväntas bli något större då det är fler komponenter än vad det är i ett konventionellt system. I gengäld uppnås en mycket större fördröjning och rening än i ett konventionellt system med bara brunnar och ledningar.

TID

Jämfört med traditionella stadsrum och dagvattennät tar dessa system längre tid att både projektera och anlägga. Framför allt i befintlig bebyggelse kan anläggningen bli mer komplicerad än i nya exploateringsområden då det finns fler parametrar att förhålla sig till.

RENING

Då forskning kring reningsnivåerna av seriekopplade konstruktioner av detta slag är låg är det svårt att veta exakt hur renat vattnet blir. Det finns en risk att belastningen av fosfor ökar under etableringsskedet innan mikroliv och vegetation har utvecklats, men på sikt ger det en fosforfälla. För att minska denna olägenhet är en åtgärd att anlägga en speciell fosforfälla i systemet eller nedströms innan dagvattnet når recipienten.

FRAMTIDA SCHAKT

Systemet kan resultera i större arbetsinsats vid behov av schaktning och återställning i framtiden. Framförallt om systemet har tätats med duk mot perkolation till grundvatten. För att säkerställa systemens funktion vid återbyggnad bör krav ställas på återställning enligt grävningsmanual inkl. fotodokumentation för att styrka att kritiska moment utförts korrekt.

SAMARBETE

BGG-system kräver både välfungerande samarbete och samverkan för att ett gott resultat ska uppnås. Detta gäller under hela projektets gång och innefattar allt från kommuner till VA-huvudmän och konsulter som projekterar. Avtal bör upprättas mellan förvaltningar, VA-huvudmän och exploatörer beroende av hur ansvaret och kostnader ska fördelas. BGG-system är gränsöverskridande och innefattar många teknikområden. Mellan konsulter bör därmed tydliga listor med gränsdragningar upprättas, så det blir tydligt vilket teknikområde som ansvarar för vad.

KUNSKAPSLÄGE

Då BGG-systemet skiljer sig från det konventionella sättet att arbeta finns det kunskapsbrister i konsult- och beställarledet. I och med detta kan det finnas behov av utbildning av samtliga inblandade i projekten både innan, under och efter projektet är avslutat.

En annan utmaning är att det inte alltid finns 100% svar på alla frågor och aspekter. En riskfaktor som uppmärksammats är näringsläckage och igensättning av flödesregulator om inte utformning och materialval av systemet tar hänsyn till detta.

VEGETATION

Kunskapsläget kring vilka växtarter som bör användas i BGG-systemen är bristfällig, och behöver utredas vidare. Vid valet av växtart behöver det beaktas att vegetationen ges möjlighet att utvecklas till fullstora individer, dvs. träden kan bli 20 meter höga och breda. Val av trädarter som blir stora kan generera stora beskärningsarbeten mot framförallt fasader. Generellt klarar systemet och vegetationen dagvatten med vägsalt, men belastas systemet med höga halter bör salttåliga växter väljas, framförallt vid inlopp.

En till utmaning är att önskade skyddsavstånd mellan VA komponenter och träd minskas i BGG-system. Styrbrunnar får ofta placeras nära träd då utrymmet mellan träd kan vara begränsat. Dessutom kan spridledningar (dränledningar/ dagvattentunnlar) behöva placeras mer eller mindre under träd på grund av utrymmesbrist. Det har inte rapporterats några problem med att trädrötter går in i luftbrunnar men risk föreligger att det kan ske.

MATERIAL OCH KOMPONENTER

I dagsläget är utbudet på leverantörer av material och komponenter mindre än för konventionella system. I och med detta kan det vara svårt att säkerställa att alla komponenter är klassade enligt projektets gällande certifiering. Även här ökar sannolikheten för ett ökat utbud när fler börjar använda sig av systemen.

LÅSER UTFORMNING

BGG-system kan utförs i flera etapper, i exempelvis exploateringsområden. Initialt i processen anläggs öppet förstärkningslager och brunnar, vilka sedan täcks med bärlager (obundet/bundet) under tiden byggnation sker på kvartersmark. Det redan anlagda systemet är svårt att flytta, men det är möjligt att nyanlägga ett system som sedan kopplas till det redan anlagda. Det är också möjligt att skifta plats på olika konstruktioners placering i marknivå fram till att de ska anläggas. För att slippa nyanläggning av system bör utformningen vara mer eller mindre låst och utredningar gjorda när anläggning av BGG-system väl börjar (t.ex trafikutredning gällande svängradier på dimensionerande fordon, säkerställa att det är tillräckligt många HKP mm).

AMA

AMA är idag inte anpassad för BGG-system där flera infrastrukturer samsas om samma yta och volym. I och med att flera komponenter, material och arbetsmoment inte har givna standardkoder i AMA-Anläggning behöver projektören skapa flertalet nya koder. När fler börjar jobba med BGG-system ökar sannolikheten för att dessa tas med som standard i AMA.

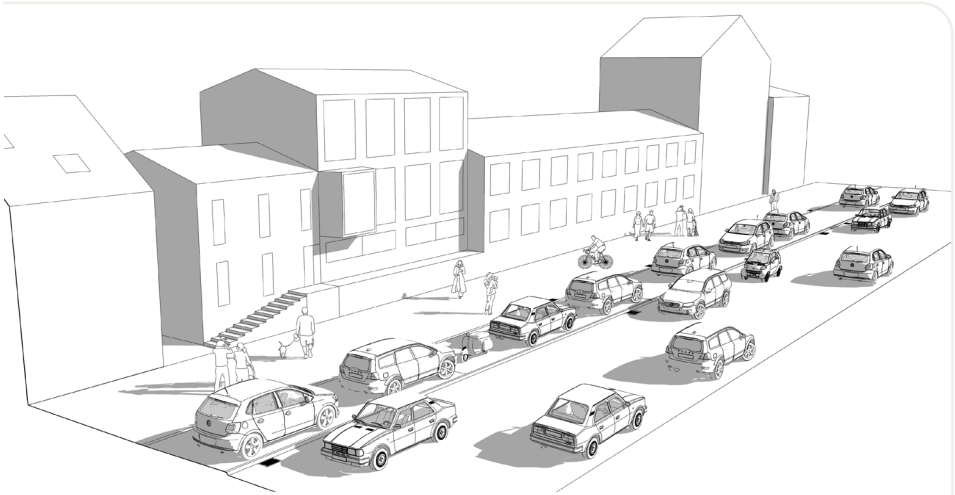
8.5 Effekter

I detta kapitel utgår samtliga exempel från ett sammanhängande BGG-system med generellt högre krav.

STADSRUM MED BGG-SYSTEM

Ett stadsrum som sätter människan i centrum och där vegetationen ges plats, vilket skapar attraktiva och resilienta stadsrum med behagligt mikroklimat. Avrinningen sker till BGG-systemen, vilka kan implementeras även om 95% av stadsrummet består av hårdgjorda ytor. Stadsrummet kan dimensioneras för att klara trafikklass 2 och BK1.

STADSRUM MED KONVENTIONELLT DAGVATTENSYSTEM

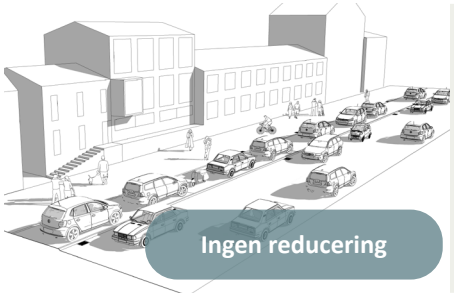


Ett stadsrum som sätter bilen i centrum, utan nämnvärd vegetation. Där den blå, gröna och grå infrastrukturen inte samarbetar. Dagvattenhantering sker enligt traditionella metoder där dagvatten leds ner i brunnar och via ledningar vidare till recipienten. Stadsrummet kan dimensioneras för att klara trafikklass 2 och BK1.

EFFEKT PÅ KOLDIOXIDREDUCERING

I BGG-system kan koldioxid lagras ner i systemet i form av biokol till en mängd av 100-300 ton CO_2e/ha.

Läs mer på:
https://bluegreengrey.edges.se/article/urban-space-as-carbon-sink/



Ingen eller liten effekt på koldioxidreducering.

STADSRUM MED BGG-SYSTEM

STADSRUM MED KONVENTIONELLT DAGVATTENSYSTEM

EFFEKT PÅ FLÖDE

Dagvattenflödet bromsas upp av vegetationsytor, men säkras även upp av flödesregulatorer i styrningsbrunnar. Detta resulterat i tömningsflöden på 5-30 l/s ha inkluderat klimatfaktor 1,25.

Ingen inbromsning av vattenflödet. Flödet av dagvatten som stadsrummet genererar är också det flöde som leds till dagvattenledningarna. Ett 10 årsregn pågår i 10 minuter kan resultera i flöden på ca 250 l/s ha.

EFFEKT PÅ FÖRDRÖJNING

Systemet dimensioneras vanligtvis för att klara ett 10-40-årsregn inklusive klimatfaktor 1,25. Systemen klarar av att fördröja 40-100 mm nederbörd i gaturummet inklusive förgårdsmark och 50% av takytan från kringliggande fastigheter.

Ledningssystemet dimensionerades traditionellt för ett 2-10 årsregn där möjlighet till fördröjning saknas i stadsrummet.

EFFEKT PÅ FÖRORENINGSBELASTNING

I dagsläget finns ingen exakt kunskap om vad ett BGG-system har för reningsnivå men sådana studier pågår. Med tanke på att BGG-system renar vattnet med hjälp av biokol, växtrötter, mikroliv, filtrering och sedimentering förväntas det leverera en generell reningsnivå på minst 70-80%.

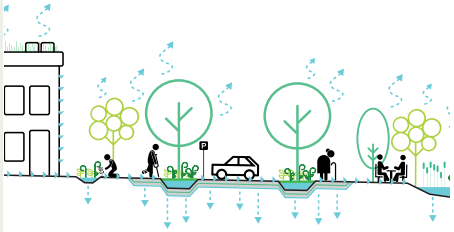
Ingen rening, dagvattnet leds orenat ut från området.

STADSRUM MED BGG-SYSTEM

STADSRUM MED KONVENTIONELLT DAGVATTENSYSTEM

EFFEKT PÅ GRUNDVATTENNIVÅER

Perkolation av dagvatten i BGG-system resulterar i ökad grundvatten-bildning. Förutom att det förbättrar tillgången på vatten till vegetation minskar det risken för sättningar på grund av sänkt grundvattennivå vilket annars kan resultera i sprickbildning av både fasader och konstruktioner.



Ingen tillförsel av nederbörd till grundvattnet och därmed sänkning av grundvattenytan vilket kan generera kostsamma skador på byggnader.

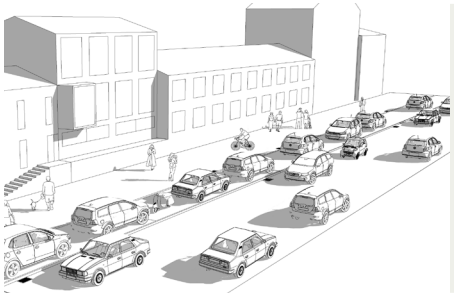
EFFEKT PÅ VÄXTBÄDDSVOLYM OCH VATTENTILLGÅNG

I BGG-system är växtbäddarna generellt minst 15m³ per träd, och ofta ännu större. Takvatten kan ledas till växtbäddarna vilket förbättrar vattentillförseln även under torrare perioder. Systemet är anpassat för att i framtiden motta Stadsvatten (drän- och gråvatten)

I traditionella växtbäddar är det inte ovanligt med växtbäddsvolymer på 1-2 m³/ träd. Avrinning till växtbäddar som kan bidra till vattenförsörjning saknas dessutom.

EFFEKT PÅ BIOLOGISK MÅNGFALD

Genom att integrera mer vegetation och fler växtarter i våra urbana miljöer förbättras möjligheterna för både mikroorganismer, växter och djur att överleva och sprida sig. Gröna korridorer mellan grönområden förbättrar förhållandena ytterligare.



Ingen eller liten effekt på den biologiska mångfalden.

STADSRUM MED BGG-SYSTEM

STADSRUM MED KONVENTIONELLT DAGVATTENSYSTEM

EFFEKT PÅ VÄXTBÄDD

Systemen består av makadambaserade växtsubstrat vilket har en enkelkornstruktur som varken faller sönder av belastning under byggskede eller vid tillrinning av vägsalt.
Detta skapar därmed förbättrade växtförhållanden med god infiltration och gasutbyte.

I traditionella växtbäddar används ofta växtjord med hög lerhalt (>5%). Denna jord resulterar i sämre förmåga att klara av byggprocessen, dessutom leder tillrinning av vägsalt till kollapsande struktur. Detta resulterar i försämrade växtförhållanden i och med otillräckligt gasutbyte och vatteninfiltration.

EFFEKT PÅ VÄRME OCH ENERGI

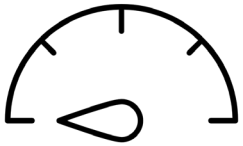
Vegetation som skapar trädtak i stadsmiljöer bidrar till temperaturer som sällan överstiger 25 grader genom både skuggning och evapotranspiration. Sänkta utomhustemperaturer samt skuggning av fasader minskar också behovet av nerkylning inomhus vilket leder till sänkt energikonsumtion.

Stadsrum utan vegetation kan i europeiska förhållanden komma upp i temperaturer närmare 50 grader.

EFFEKT PÅ EKOSYSTEMTJÄNSTER

Ekosystemtjänster är de funktioner hos ekosystem som upprätthåller eller förbättrar människors välmående och livsvillkor. De delas in i kulturella, reglerande, stödjande och försörjande tjänster. BGG-system kan ge positiva effekter på ca 14 st av 22.
Läs mer på: www.boverket.se

Boverket



Ingen positiv effekt på ekosystemtjänster.

Ett exempel på stadsrum där planteringsytorna till viss del utgörs av regnbäddar som omhändertar och fördröjer dagvatten.
Neptunigatan, Malmö
Foto: Niklas Petersson

Täckt regnbädd under anläggning.
Foto: Agata Wehlin.

8.6 Geografisk information

För att dokumentera var och hur BGG-system är anlagda använder många kommuner sig av GIS (geografiskt informationssystem) där systemets huvuddrag och detaljer ritas in. Att föra in nedanstående information om BGG-systemet i GIS underlättar vid drift och grävning eftersom även underjordiska delar av systemet illustreras.

För att förklara systemet bör följande geografiska information föras in i GIS.

- Maximal utbredning av öppet förstärkningslager
- Bottenutbredning av avbrott eller ledningspassage
- Typ av växtbädd (regnbädd, vegetationsyta eller träd i hårdgjord yta)
- Position av brunnar
- Position av dagvattentunnlar
- Position av regnbäddars inlopp och sandfångskar
- Position av ledningar

Ovanstående information kompletteras med uppgifter om ingående material, produkter, inställningar och hänvisning till aktuella ritningar. Det behöver även framgå var man hittar manualer för drift och underhåll och återställning efter grävning inom systemet.

9 Framtidens stadsrum

I arbetet med att utveckla och rusta stadsrum för framtidens behov finns det många aspekter att ta hänsyn till, såväl tekniska som funktionsmässiga. Designguiden Smarta gator och projektet Framtidsgatan genomsyras av nytänkande strategier för att utforma välfungerande gaturum, tankar som på många sätt hakar in i och går i samklang med BGG-system.

9.1 Smarta gator

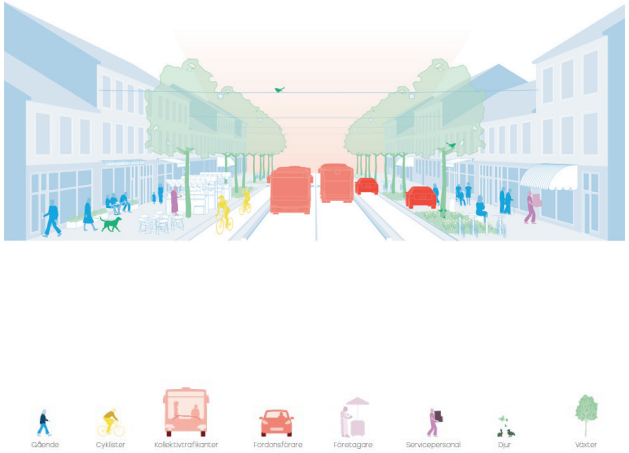
I Vinnova-projektet Smarta gator har en designguide tagits fram för smarta gator. Guiden bygger på fyra megatrender som identifierats, vilka beskriver hur och varför dagens gator och morgondagens design behöver förändras. De identifierade megatrenderna beskriver utmaningar som Sveriges och världens städer står inför, för att klara en hållbar utveckling i framtiden. Dessa trender har på olika sätt förstärkts i och med coronapandemin.

- *Urbanisering*
- *Digitalisering*
- *Samhällsförändringar*
- *Miljöförändringar*

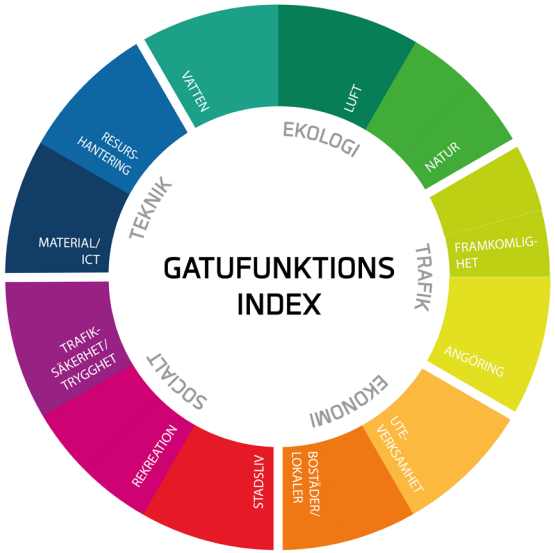
De fyra megatrenderna innebär att designprocessen, regelverk och handböcker kontinuerligt måste förnyas och omvandlas. I guiden har det tagits fram fem designprinciper som ska vara vägledande för all gatudesign, omvandling av befintliga gator såväl som nybyggnation. Det övergripande målet med guiden är ”Smarta gator för en hållbar stadsutveckling”.

- *Design för mångfunktionalitet*
- *Design för stadsliv*
- *Design för låg hastighet*
- *Design för ekosystem*
- *Design för flexibilitet*

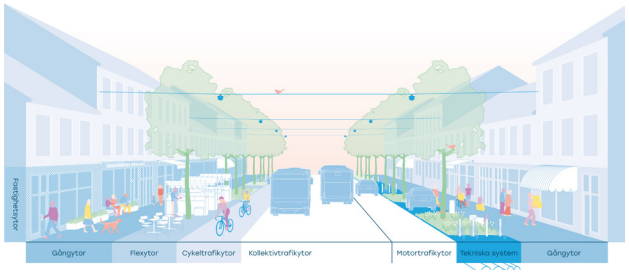
Nya mål och riktvärden måste sättas för att stadsrummen ska kunna möta samtida och framtida krav. Målen bör generellt vara mätbara. För att mäta utfallet av ett gatuprojekt krävs ett mångsidigt och tvärvetenskapligt angreppsätt för att fånga alla möjliga konsekvenser. Länge har gator utvärderats endast med utgångspunkt i trafiken, dess framkomlighet och säkerhet. Men det finns som nämnts många fler funktioner som gör gatan värdefull och hållbar. Det handlar om att förstå hur gatuinvesteringar stöder de övergripande målen om folkhälsa, trygghet, livskvalitet, miljömässig och ekonomisk hållbarhet, jämlikhet och rättvisa. Att mäta de fysiska förändringarna i gatan och dokumentera alla dess funktioner gör det möjligt att analysera och förstå de större effekterna av ett projekt över tid. En kontinuerlig utvärdering av gatuprojekt ger kunskapsutveckling och bidrar till utvecklingen av framtida gator. Detta kan i sin tur ge bättre offentligt och politiskt stöd för förändring.



Figur 67. Gatornas användare utgör en mångfald av människor, fordon, djur och växter. De har alla olika krav på utrymme och livsmiljö. Illustration: Spacescape



Figur 68. Gatufunktionsindex – mäter antalet funktioner och är ett enkelt mått för att identifiera hur mångfunktionaliteten förändras, före och efter ett gatuprojekt. Ett index på över 50, dvs att gatan har över 50 funktioner är att betrakta som mångfunktionellt. Illustration: Spacescape.



Figur 69. Gatans delar kategoriseras i guiden i gångytor, flexytor, cykelytor, kollektivtrafikytor, motortrafikytor, fastighetsytor och tekniska system. Illustration: Spacescape.

9.2 Stadsrummens användare

Stadsrummen samlar allt liv och alla rörelser i staden. Dess användare utgör en mångfald av människor, fordon, djur och växter, se figur 67. Användarna har alla olika krav på utrymme och livsmiljö. En grundförutsättning för all gatudesign är den begränsade fysiska ytan som en gata alltid innehar, i synnerlighet dess bredd. Särskilt i tät stadsbebyggelse ställer det höga funktionskrav på rummet. En prioritering måste alltid ske av olika användares krav på rummets design. Gator ska också i första hand vara till för stadslivet och de som går, alltså människorna i staden. För att skapa mänskliga och sociala trygga delade gaturum krävs låga fordonshastigheter. För att gaturummen ska vara en del av stadens ekosystem behöver de vara gröna, artrika, trädplanterade och klimatanpassade. Gator måste även vara flexibla i sin användning och utformning för att vara hållbara, med tanke på stadslivets, trafikens och stadens ständiga förändring. I guiden definieras ”smarta gator” kort sagt som mångfunktionellla, levande, långsamma, ekologiska och flexibla gator.

9.3 Gatans funktioner

Gatans roll i staden kan på goda grunder ses som mångfunktionell. Gator utgör så väl en plats för stadsliv samtidigt som de behövs för att människor och varor ska komma fram. I städernas klimatanpassning och förebyggande klimatarbete kan gator spela en viktig roll genom främjandet av hållbara färdsätt, att utgöra spridningskorridorer och inrymma livsmiljöer av värde för den biologiska mångfalden. Även för möjligheterna till ekonomiskt utbyte och attraktivitet för olika sorters verksamheter spelar gatan och dess utformning en viktig roll. Gator fyller även tekniska funktioner genom dagvatten- och ledningsstråk.

I takt med att städer urbaniseras och konkurrensen om marken och gatuutrymmet därmed ökar, aktualiseras kraven på gators mångfunktionalitet. Hur gator yteffektivt kan inrymma mångfald och samtidigt stötta funktioner av central betydelse för stadens sociala, ekonomiska och ekologiska hållbarhet är en central fråga i forskningsprojektet Smarta gator.

9.4 Gatufunktionsindex

För att analysera gators funktionalitet har ett gatufunktionsindex tagits fram, se figur 68. Indexet är en slags bruttolista över de funktioner som en gata brukar kunna inneha. Syftet med gatufunktionsindexet är att beskriva vilka funktioner som finns i gatan. Syftet är inte att beskriva hur och varför dessa funktioner uppstår. Utifrån detta index kan gatans utformning, bredd och läge bättre analyseras och förstås. De fem teman som funktionerna med tillhörande indikatorer och kriterier delats in i är:

Sociala funktioner - Staden och gatans huvudsakliga syfte är att vara mötesplats och vistelseplats för människor. De sociala funktionerna handlar om tillgänglighet, trygghet, trafiksäkerhet, rekreation, hälsa och stadsliv.

Trafikala funktioner - Staden behöver gatorna för att skapa tillgänglighet och mobilitet. De trafikala funktionerna handlar även om framkomlighet och angöring för olika grupper och färdmedel.

Ekologiska funktioner - Gatorna är nödvändiga för stadens miljö, klimatanpassning och ekosystemtjänster. De ekologiska funktionerna handlar om hantering av dagvatten, luftrening och livsmiljöer för både flora och fauna.

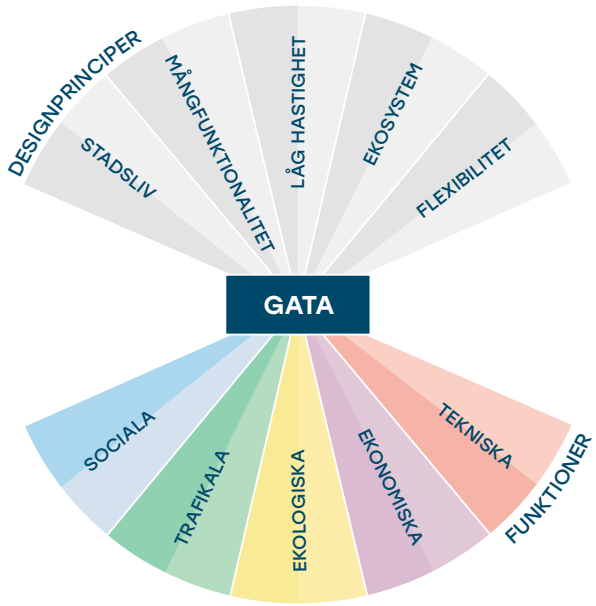
Ekonomiska funktioner - Gatorna är en viktig utgångspunkt för stadens ekonomiska liv och aktiviteter. De ekonomiska funktionerna handlar om möjligheten till ekonomiskt utbyte i gaturummet men också om de verksamheter som ligger längs med gatan. Alla uppräknade ekonomiska funktioner har också sociala funktioner.

Tekniska funktioner - Gator utgör ryggraden för all form av teknisk infrastruktur i staden. De tekniska funktionerna behandlar ICT, resurshantering så som avlopp, avfall och vatten samt materialens egenskaper så som livslängd och slitagetålighet.

9.5 Designprinciper

Designlösningen av en gata som helhet är en komplex sammanvägning av intressen och funktioner som är unika för varje plats och sammanhang. Det finns faktiskt ett egenvärde i att alla gator blir platsunika för att det bidrar till stadens identitet och läsbarhet. En välfungerande flexibel smart gata ska ha en helhetsdesign som bidrar till gatubilden i en stad och stadsbilden. Det handlar om hela gaturummets karaktär, samspelet mellan dess väggar, golv och tak. Vissa gator kan vara storskaliga livliga med höga hus, stora träd, breda gångytor, och många körfält. Andra gator kan vara mer småskaliga lummiga lekfulla med lägre hus, trädgårdar, planteringar, bäckar, lekytor och smågatsten. Alla gator har dock gemensamt att de måste integrera sociala, trafikala, ekologiska, ekonomiska och tekniska funktioner på liten yta. Därför krävs designprinciper, se figur 70.

I följande kapitel beskrivs de fem principer som ska vara överordnade allt designarbete med stadens gator. Varje designprincip är illustrerad med ett prioriteringsdiagram (en uppochner-vänd pyramid) som visar hur olika aspekter i designarbetet ska prioriteras så att största hållbarhet, kvalitet och yteffektivitet uppnås. De är en vägledning i avvägningen mellan intressen och värderingar. Designprinciperna säkerställer att gatan får maximal mångfunktionalitet och flexibilitet på gatans begränsade yta.



Figur 70. Designprinciperna maximerar gatans mångfunktionalitet. Illustration: Spacescape

Figur 71. Lågfartsgata med lågfartsfält och cykelfält. Illustration: Spacescape

9.5.1 Design för mångfunktionalitet

Mångfunktionalitet är grundläggande för smarta gator. De sociala funktionerna är viktigast för livet i staden. Övriga funktioner har sina specifika roller men är i grunden till syfte att stötta stadslivet. En mångfunktionell gata är en väl gestaltad livsmiljö, med karaktär och estetiska kvaliteter.

Gators mångfunktionalitet främjas genom att prioritera sociala funktioner främst, sen trafikala, sen ekologiska, sen ekonomiska och sist tekniska, se figur 72.

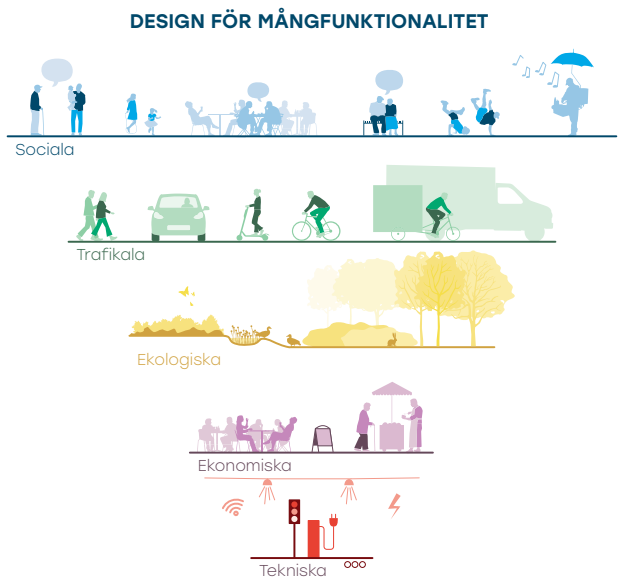
9.5.2 Design för stadsliv

Stadens gator är förutom transportnät också viktiga offentliga rum och allmänna platser. Här möts människor med olika bakgrund och intressen. Längs gatan sker stadens alla typer av verksamheter, kommersiella så som offentliga och dessa aktiverar även gatans liv. Många av gatorna i staden är del av en bostadsmiljö som delas av invånarna men också viktiga delar av människors arbetsmiljö, arbetsvardag och fritid. Det måste således finnas plats för att vistas på gatorna, vilket möjliggörs antingen genom att ta bort eller begränsa fordonstrafik eller separera gångtrafiken till trottoarer som måste vara så breda att de kan rymma socialt och ekonomiskt liv. Många av policydokumenten lyfter fram stadslivet som den mest prioriterade funktionen i gatan.

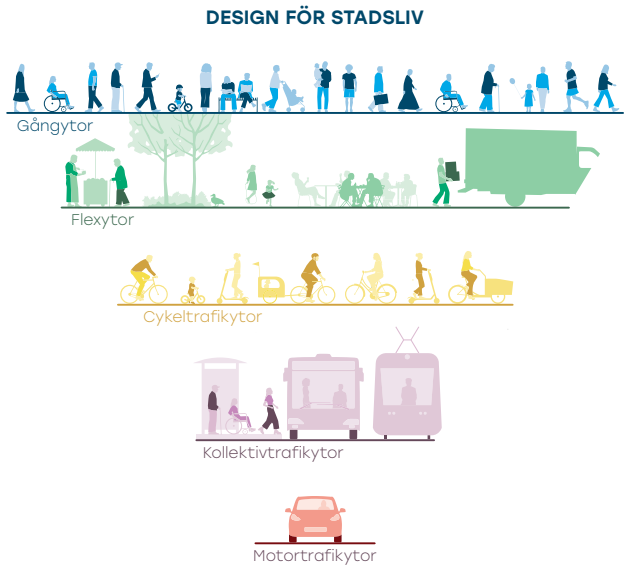
Gators stadsliv främjas genom att prioritera gångytor främst, sen flexytor, sen cykeltrafikytor, sen kollektivtrafikytor och sist motortrafikytor, se figur 73.

9.5.3 Design för låg hastighet

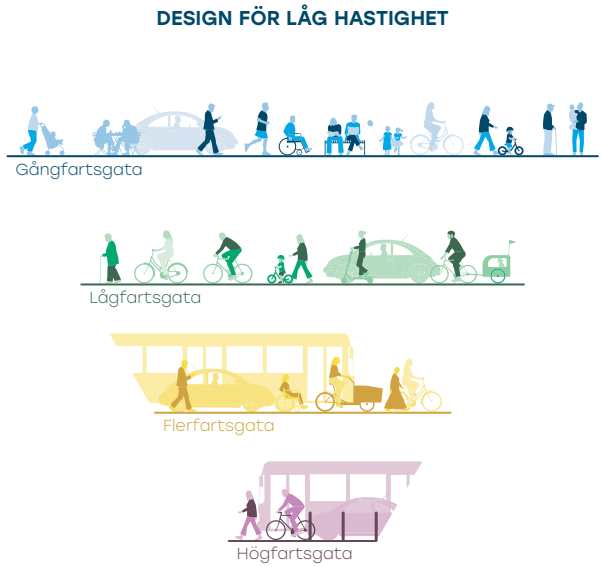
Låg hastighet är grunden för stadsliv, säkerhet och tillgänglighet och främjar således de mest prioriterade trafikslagen och funktionerna. Gators yteffektivitet främjas med lägre hastigheter. Låg hastighet skapar också ett jämnare trafikflöde och ökar på så sätt framkomlighet och trafikkapacitet i gatunätet, samt minskar utsläpp.



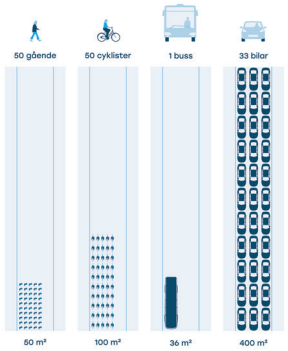
Figur 72. Prioriteringsordning för design för mångfunktionalitet. Illustration: Spacescape.



Figur 73. Prioriteringsordning för design för stadsliv. Illustration: Spacescape.



Figur 74. Prioriteringsordning för design för låg hastighet. Illustration: Spacescape.



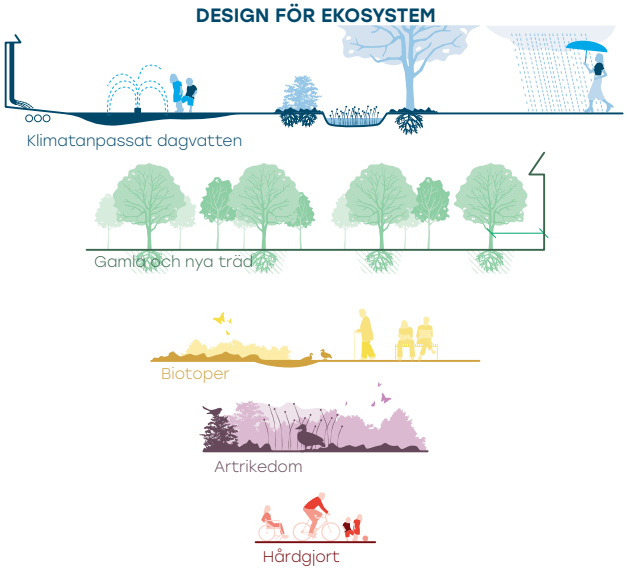
Figur 75. Ytan som 50 människor upptar med olika trafikslag. (NACTO 2019) Illustration: Spacescape.

I alla policydokument framgår att fordonshastigheter är fullständigt avgörande för gators funktionalitet. De ger direkt påverkan på trygghet, säkerhet, tillgänglighet, angöring, framkomlighet, energiförbrukning, utsläpp och många andra faktorer. En policy för framtidens gator bör utgå från fordonshastigheter och olika fordons och trafikanters möjlighet att hantera dessa., se figur 74.

9.5.4 Design för ekosystem

Ekosystem och naturförutsättningar är viktiga för gatans liv och hållbarhet samt för stadens biologiska mångfald. Mest grundläggande är att mark- och vattensystemen är i balans för att ta hand om regn och säkerställa bevattning och grundvatten, och i och med detta nödvändig klimatanpassning. Den gröna infrastrukturen i gatorna skapar stora sociala och ekologiska värden.
Träd och planteringar gör vistelsemiljön trevligare och vackrare, och jämnar ut temperaturer. Gatorna är och bör utformas som del i städernas ekosystem. Vegetation, jordar och naturliga processer infiltrerar, renar och fördröjer dagvatten innan det kommer in i ledningssystemet och gatan bör genom lutningar leda vatten mot dessa. Den gröna infrastrukturen måste planeras i samspel med ledningar, grundvatten och berggrund.

Gators ekosystem främjas genom att först prioritera klimatanpassade dagvattenlösningar, sen träd, i synnerhet gamla träd, därefter skapandet av biotoper och välfungerande livsmiljöer. Sedan en så stor artrikedom som möjligt i naturliga eller anlagda grönytor, allra sist hårdgjorda ytor, se figur 76.

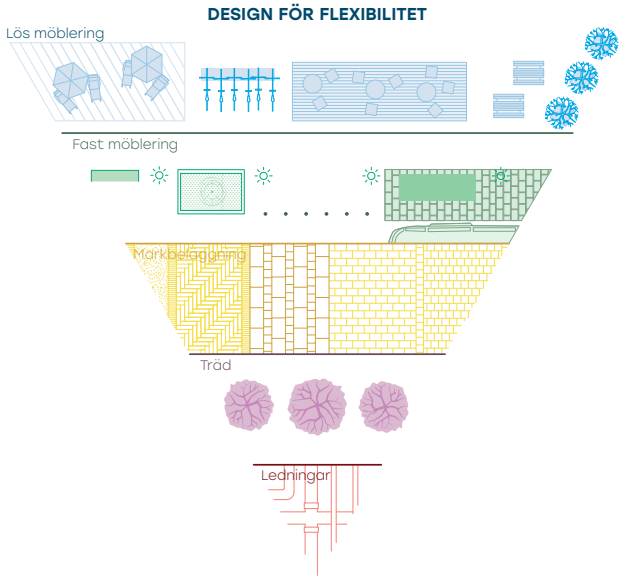


Figur 76. Prioriteringsordning för design för ekosystem. Illustration: Spacescape.

9.5.5 Design för flexibilitet

Flexibilitet i användningen och utformningen är grundläggande för smarta gator. En gata som snabbt kan byta funktion eller form har bättre hållbarhet. Träd och underjordiskt ledningsnät är något av det som är mest omständligt och kostsamt att flytta och ändra. Möblering och färgmarkeringar är sådant som kan ändras mycket snabbt och billigt.

Gators flexibilitet främjas genom att prioritera placeringen av ledningar först, sen träd och planteringar, sen markbeläggningen (helst som ett plant golv), sen fast möblering, och sist lös möblering och markfärg. Testbäddar är att betrakta som en enkel åtgärd med lös möblering och markfärg för att temporärt ändra en gatas utformning, se figur 77.



Figur 77. Prioriteringsordning för design för flexibilitet. Illustration: Spacescape.

9.6 Framtidsgatan

Som en vidareutveckling av projektet Smarta gator pågår just nu ett arbete med projektet Framtidsgatan.

Framtidsgatan är ett projekt finansierat av Vinnova och utförs av ett team bestående av Edge, Spacescape, Norconsult samt IVL, med Göteborgs stad, Stockholms stad, samt Umeå kommun som samarbetspartner. Projektet syftar till att utifrån ett antal utvalda gator ta fram principer för snabba förbättringsåtgärder som senare ska ligga till grund för konkreta anläggningar med högre vistelse- och funktionsvärden jämfört med gatorna idag. Målet är att lösningarna ska kunna skalas upp och appliceras även på andra gator.

Projektet har flera delar med avseende på gatutformning, trafik och ekosystemtjänster. Det huvudsakliga ansvarsområdet för Edge omfattar ekosystemtjänster. Ekosystemtjänster är ett brett begrepp, som kan användas i alla typer av människopåverkade miljöer, men i projektet Framtidsgatan fokuseras dessa till användandet i urbana miljöer.

För mer information om Smarta gator och Framtidsgatan se:

https://smartagator.se

10 Livable ’scapes

Vår vision är att få människor att komma ut. Genom att bygga ett hållbart och attraktivt samhälle vill vi få människor att vistas mer utomhus. Därför låter vi platsens förutsättningar vägleda utformningen med målet att skapa långsiktigt välfungerade miljöer. Vi vill skapa platser där människa och natur sätts i fokus. Med det menar vi miljöer som ska vara inbjudande för vistelse och passage, vara trafiksäkra, erbjuda olika alternativ för hållbar mobilitet, samverka med ekosystemtjänster, underlätta blågröngråa synergier och vara klimatsäkrade för alla möjliga scenarion. Detta bidrar till att skapa hög livskvalitet. Med begreppet **Livable ’scapes** vill vi belysa flera typer av levande platser, stadsrum och landskap.

I detta häfte har vi formulerat våra tankar kring hur man kan skapa livable’ scapes. Vi vill belysa vikten av diversitet i stadslandskapets typologi för att uppnå trivsamma, klimatsmarta, multifunktionella och attraktiva platser, något som kan bidra till mer kvalitet en urban miljö. På följande sidor skriver vi kortfattat om våra tankar kring livable ’scapes i fyra avsnitt:

- *Klimatoptimerad utformning*
- *Multifunktionalitet & samverkan*
- *Pålitlig gestaltning & smart mobilitet*
- *Platser som lockar*

Skate och aktivitetsyta i Kanalparken, Kristianstad

10.1 Klimatoptimerad utformning

Den pågående klimatkrisen medför globala problem med lokala konsekvenser. Ur ett stadsplaneringsperspektiv uppstår det ständigt scenarion som påvisar att våra städer är sårbara och dåligt rustade mot extrema och mer frekventa väderfenomen. Stigande havsnivåer, mer intensiva samt mer frekvent förekommande skyfall, värmeböljor och torrperioder skapar direkta utmaningar och måste hanteras på lokal nivå. Städernas tätt bebyggda miljö och stora hårdgjorda ytor försvårar hanteringen av de ökade mänger nederbörd och varmare temperaturer som samhället står inför. För att mildra konsekvenserna och stärka resiliensen behövs flera smarta tillvägagångssätt vid planering och utformning av stadens rum.

Att gestalta och bygga klimatsmart ska vara självklart för alla!

Medvetenhet kring hållbarhet är viktigt både i större och mindre skalor; från planering till genomförande och skötsel. Det finns flera verktyg för att arbeta med klimatsmart utformning av stadens rum på flera plan och i olika skeden; från strategiska planer till grönytefaktorberäkningar, skyfallsberäkningar, olika typer av miljöcertifieringssystem och en aktivt hållbar gestaltning av stadens rum.

I staden finns ofta flera outnyttjade vattenresurser såsom bland annat dräneringsvatten och gråvatten. Dessa volymer behöver hanteras cirkulärt, exempelvis nyttjas för bevattning i stället för att bevattna med renat dricksvatten. Vi måste hitta vägar för samverkan mellan stadens aktörer och det blågröngråa för att ta tillvara på denna viktiga resurs. Genom att koppla samman stadens byggnader och dess mellanrum som del av blågröngråa-system kan positiva synergieffekter skapas. Hållbar dagvattenhantering, biologisk mångfald och gröna värden för människor, djur och insekter i staden kan kombineras från tak till mark, mellan kvartersmark och allmän platsmark.

Ett ytterligare steg mot en mer hållbar stad är att titta närmare på stadens minsta beståndsdelar och deras miljöpåverkan, genom det kan vi göra skillnad. Ett sätt att minska koldioxid i atmosfären är att använda biokol i vegetationsytor. Biokolet verkar som en kolsänka, samtidigt skapar det goda förutsättningar mikroorganismer och vegetation. På Edge har vi har påbörjat arbetet med att klimatberäkna våra projekt för att se vilken påverkan dessa ger; från produktion till färdigt resultat och vidare när platsen åldras över tid. I linje med detta har vi på uppdrag av Malmö stad utvecklat förslag till skolgårdar utan mikroplaster. Vilka material som föreskrivs och deras egenskaper har stor betydelse för stadens ekologiska fotavtryck. Långsiktigt hållbara material och cirkulär materialhantering är att föredra framför mer förgängliga och svårskötta alternativ samt inköp av nya material. Följande tre punkter sammanfattar våra tankar:

- *Klimatberäkna projekt och anläggning*
- *Undersök och välj material utifrån klimatpåverkan, beständighet och återanvändbarhet*
- *Integrera dagvattenhantering och biologisk mångfald i de byggda strukturerna*

Vidare läsning:

Handbok om blågrönagrå system, Edge
https://bluegreengrey.edges.se

Skolgårdar utan mikroplaster, Edge
https://edges.se/uppdragskolgardar-utan-mikroplaster

Stadsvatten, Edge
https://bluegreengrey.edges.se/article/stadsvatten-den-outnyttjade-resursen

Vidare läsning:

Gatufunktionsindex
https://smartagator.se/

D. Sim
Soft City: Building Density for Everyday Life

Boverket
Mångfunktionella gator
Rapport 2019:7

Direkt fördröjning och hantering av dagvatten och avrinning ner i regnbädd. Strandbogatan, Uppsala

10.2 Mångfunktionalitet och samverkan

I der urbana miljöerna ska flera funktioner samsas på en begränsad yta. En stigande befolkningstäthet i kombination med en intensifierad förtätning av städer medför efterfrågan på fler samhällsviktiga funktioner per ytenhet i staden. Genom att kombinera funktioner utan att göra avkall på den mänskliga skalan eller miljön så kan ett levande stadsrum skapas. För att nå dynamiska och varaktiga lösningar är det viktigt att aktörer som representerar olika intressen tillåts att påverka denna funktionssamordning tidigt i gestaltningen.

Mångfunktionella platser tillgodoser flera behov samtidigt.

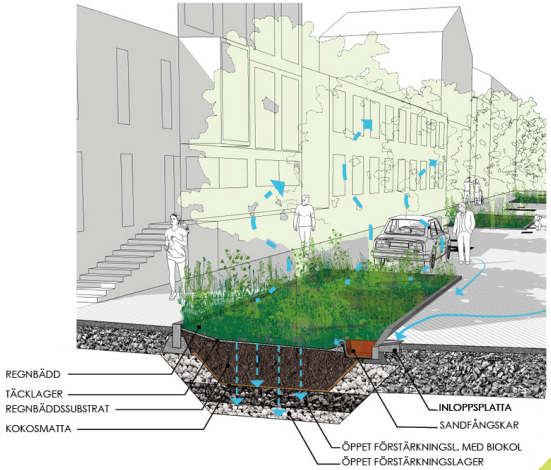
Inom urbana miljöer finns en stor efterfrågan på att hantera många tekniska lösningar på mindre ytor. Mångfunktionalitet kan uppnås genom att hårda system och lösningar integrerar med mjuka värden; det kan exempelvis röra sig om att skapa lösningar för olika trafikslag tillsammans med hantering av dagvatten. Genom integration av blå, gröna och gråa system skapar vi mångfunktionella miljöer som kan hantera transport och trafikbelastning (det grå), dagvatten (det blå) och samtidigt ger vegetationen det utrymme den behöver för att frodas (det gröna). Genom detta kan alltså flera samhällsviktiga funktioner kombineras med positiva synergieffekter på en förhållandevis liten yta.

Genom att använda Gatufunktionsindex går det att identifiera vilka funktioner som tillgodoses i en gatumiljö. Indexet har utvecklats av Spacescape inom ramen för vinnovaprojektet Smarta gator.

Med varsam gestaltning kan flexibla platser med positiva synergieffekter mellan flera funktionaliteter skapas, vilket även kan främja samverkan mellan olika aktörer och brukare. Utrymme för flera funktioner på samma plats kan även bidra med att användningen av platsen optimeras och öka resurs- och kostnadseffektiviteten.

I gestaltandet och projekeringen kan man försöka eftersträva att:

- *Möjliggöra flera funktioner och system inom samma yta*
- *Optimera synergier genom att applicera aktuell kunskap och modern teknik*
- *Ständigt utvärdera anläggning för att förbättra för framtida funktioner*



10.3 Pålitlig gestaltning & smart mobilitet

Vid utformning av urbana rum är det viktigt att tänka på upplevd trygghet och den faktiska säkerheten på platsen. Trygghet är en subjektiv uppfattning som kan definieras som en avsaknad av rädsla, oro och upplevd utsatthet för risker, medan säkerhet avser de faktiska riskerna att drabbas av någon typ av olycka. Rumsliga förutsättningar kan påverka känslan av trygghet på flera olika sätt, exempelvis genom inverkan på den upplevda risken att utsättas för brott eller råka ut för trafikolyckor. Att kunna vistas i trygghet utomhus oberoende tidpunkt på dygnet, etnicitet, kön, ålder och funktionsvariation ska vara en självklarhet.

Även om trygghet är en subjektiv fråga finns det åtgärder i den fysiska miljön som de flesta anser ökar tryggheten. Trafikrelaterade frågor påverkar i hög grad både trygghet och säkerhet inom urbana rum. För att undvika trafikrelaterade olyckor kan det göras hastighetsdämpande åtgärder.

Stadsrum ska utformas för oskyddade trafikanter och barn eftersom dessa grupper löper större risk för allvarligare konsekvenser vid olyckor. För att säkerställa barnens plats i stadsrummet och se till att de kan röra sig på egen hand behöver deras perspektiv inkluderas i flera delar av planeringen och utformning av våra städer. Vi tycker det är viktigt att föräldrar kan låta sina barn gå eller cykla till skolan på egen hand.

Säkra och lekvänliga stadsrum skapar goda förutsättningar för ökad fysisk aktivitet och hälsa, samtidigt som det tidigt ger yngre brukare en vana att använda cykel som transportmedel. Väl tilltagna cykel- och gångytor är ett exempel på hur platsens fysiska gestaltning kan användas för att skapa goda levnadsförhållanden och samtidigt underlätta för människor att göra hållbara val i vardagen. Cykelparkeringar av olika slag (för cyklar, elcyklar och lådcyklar) kan med fördel placeras nära entréer och bilparkeringar placeras längre bort, vilket har stor påverkan på upplevelsen av vilket transportsätt som är förvalt på platsen.

Hållbar mobilitet är att erbjuda ett miljövänligt, tillgängligt och hälsofrämjande transportsystem.

För att skapa säkrare framkomlighet för fotgängare och cyklister kan man med fördel använda trafikseparerande åtgärder. I andra fall är blandad gång/cykel- och biltrafik fördelaktigt beroende på platsens förutsättningar (ex. gångfartsområden). Från och med 1 december år 2020 är det möjligt för kommuner att införa cykelgator. Då möjliggörs främjander av cykeltrafik utan att utesluta motortrafik. Motorfordonen ska väja för och anpassa sin hastighetefter cyklisterna på dessa gator.

Vägmärke för cykelgata

- *Gestalta för överskådlighet, tillgänglighet och god orienterbarhet*
- *Utforma gator för lägre hastigheter och begränsa framkomlighet för motortrafik*
- *Gör det lätt att ta kloka beslut och göra hållbara val som främjar klimatsmarta vanor*

Prioritering av hållbara trafikslag med hjälp av cykelgata, Århus.

Vidare läsning:

A. Ståhle
Alla behöver närhet: Så blir framtidens städer

M. Colville-Andersen
Copenhagenize: The Definitive Guide to Global Bicycle Urbanism
& *Bicycle Culture by Design TEDxZurich*
(youtube.com/tch?v=pX8zZdLw7cs)

Trafikverket
Trafik för en attraktiv stad

Vidare läsning:

A. Ståhle
Alla behöver närhet: Så blir framtidens städer

J. Gehl
Life Between Buildings: Using Public Space

10.4 Platser som lockar

Attraktiviteten hos en plats innebär dess förmåga att vara tilldragande och användbar för människor och verksamheter, samt dess förmåga att stötta biologisk mångfald och erbjuda rekreation. När en plats ska utvecklas eller omgestaltas bör man i tidigt skede undersöka, reflektera över och ta hänsyn till platsens sammanhang och funktion. Kanske är det platsens mjuka värden och själ som gör att den känns trivsam, kanske är det de fysiska strukturerna eller artefakterna. Svaren kan finnas lagrade i platsens historia och ge indikationer på framtida potentialer för liv.

Utformningen av ett stadsrum avgör spelreglerna för livet på platsen.

Utformningen sätter ramarna för vilka aktiviteter och händelser som kan utspela sig på en plats, och för vem, samt vilka beteenden som främjas. En plats som upplevs attraktiv är inkluderande och användbar för flera människor och är oftast utformad utifrån den mänskliga skalan. En stor del på att alla förflyttningar och resor börjar och avslutas med transport till fots. Genom att öka förutsättningarna för fotgängare på platsen kan man till viss del öka attraktiviteten. Målet är att skapa platser som man gärna passerar som är värda att ta en omväg för och där man gärna stannar till, där det finns möjligheter för rekreation, lek, interaktion och ett utbud av service samt handel.

Platser och stadsrum upplevs mer levande om det finns en brokighet i den fysiska strukturen och inslag av grönska som bidrar till er mer spännande upplevelse och fritt rörelsemönster. Om platsen har lite påverkan från trafikbuller och desto mer närvaro av sinnesrika förnimmelser så skapas starkare känslor av rekreation och välbefinnande. Det är även viktigt att tänka på barnens plats i staden och aktivt värna om att rätten till utemiljö och tillgänglighet för alla. Utformar vi staden med tanke på flera brukargruppers förutsättningar så kan vi skapa inkluderande, säkra och lekfulla platser i våra städer! Det är därför viktigt att fundera kring:

- *De befintliga värdena på platsen*
- *Vilka intressen som ska tillgodoses*
- *Hur fler brukare kan integreras och tillgängligheten för dem kan öka*
- *Dialogen med/mellan nyttjare och brukare, makthavare*

11 Referenser

Litteratur

Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem. Svenskt Vatten AB. Publikation P110. ISSN 1651-4947, 2016

Blue-Green Fingerprints In the City of Malmö, Sweden. Stahre, P. VA SYD, 2008

Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning. Simonsen, E., Junghage, A., mfl. Svensk Markbetong, 2020

Förebyggande av rotinträngningar i VA-ledningar- utveckling av beslutsstöd. Svenskt Vatten Utveckling. Rapport 2010-04, 2010

Kunskapssammanställning dagvattenrening, Svenskt Vatten Utveckling. Rapport 2016-05, 2016

Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem, Svenskt Vatten AB. Publikation P104. ISSN 1651-4947, 2011

Redesigning the urban forest from the ground below: A new approach to specifying adequate soil volumes for street trees. Lindsey, P., Bassuk, N. Arboricultural Journal 16, 1992.

Regnenveloppmetoden, Sjöberg, A., mfl. Chalmers Tekniska Högskola, Meddelande 64, ISSN 0347-8165, 1982

Specifying soil volumes to meet the water needs of mature urban street trees and trees in containers. Lindsey, P., Bassuk. N. Journal of Arboriculture 17, 1991.

Specification of soil volume and irrigation frequency for urban tree containers. DeGaetano, A. T. Journal of Arboriculture 26.3. International Society of Arboriculture, 2000.

Trädrötter och ledningar - goda exempel på lösningar och samverkansformer. Svenskt Vatten. VA-Forskningsrapport nr 31, 2003

Växtbiologi. Ericsson, T. Riksförbundet Svenk Trädgård, 2009.

Elektroniska källor

EU Water Framework Directive, http://www.svensktvatten.se/globalassets/organisation-och-juridik/eu-information-om-vattenforvaltning.pdf

Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor- Ett Vinnova-projekt, https://klimatsakradstad.se/

Modellering av torkstress på vegetation i BlåGrönGråa-system i modelleringsverktyget MIKE SHE, Backlund, A. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1654645/FULLTEXT01.pdf

Multifunktionella urbana dagvattenanläggningar, https://www.youtube.com/watch?v=SkSyuWPjzjk

Nacka kommuns Tekniska handbok, https://www.nacka.se/underwebbar/teknisk-handbok/

Regnbäddar, Movium Fakta 2015, http://www.movium.slu.se/system/files/news/11238/files/movium_fakta_2-2015_rangbaddarslutlig.pdf

Smarta gator/Framtidsgatan, https://www.smartagator.se/

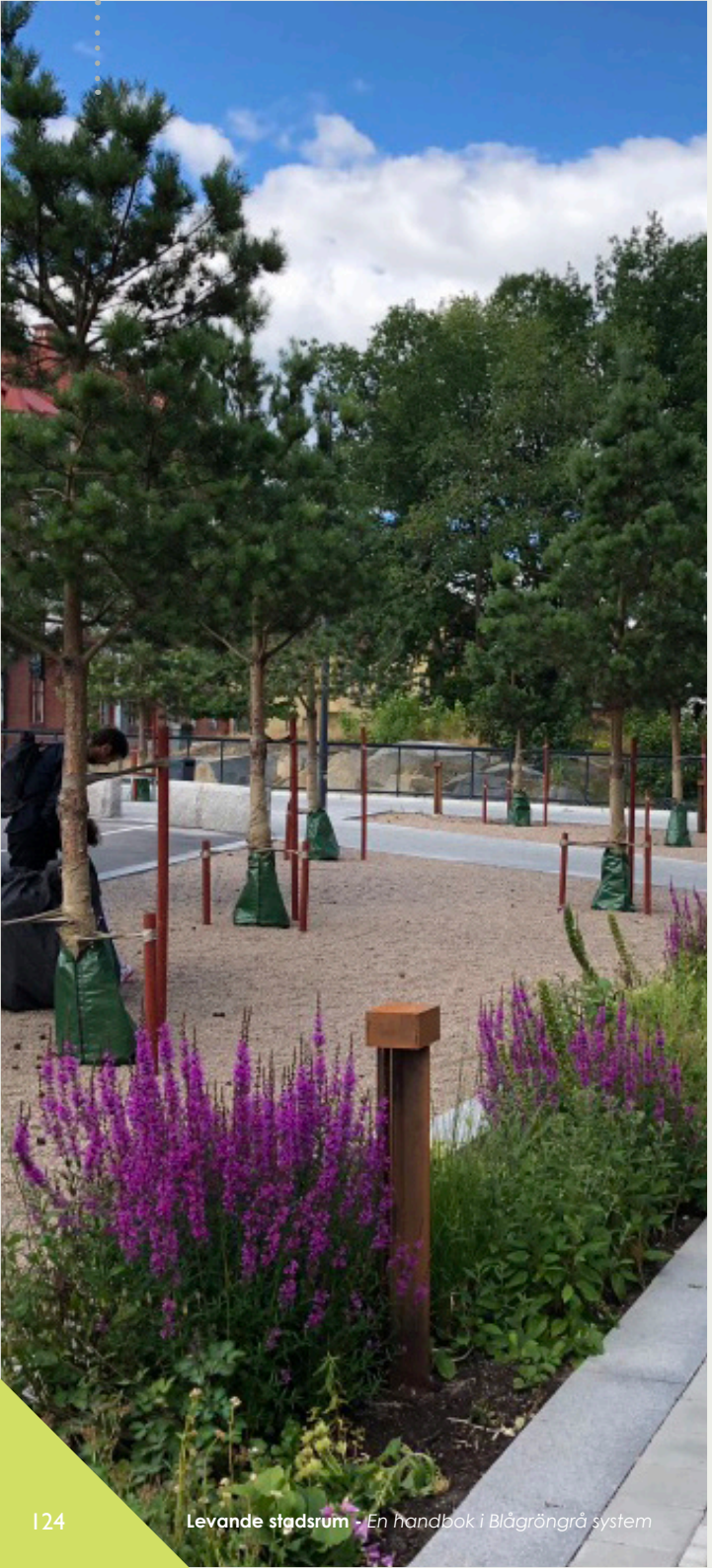
SMHI, https://www.smhi.se/

Tredimensionella klätterväxter, Brattström, M. https://stud.epsilon.slu.se/18058/3/brattstrom-m-20220704.pdf

Vattenkloka städer, https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2017/05/IWA_Brochure_Water_Wise_Communities_SW_screen.pdf

Växtbäddar och avvattningslösningar för sportgräsytor, Fridell, K. https://bluegreengrey.edges.se/article/root-zones-and-drainage-solutions-for-sports-lawns/

Växtbäddar i Stockholms stad – en handbok 2017, https://leverantor.stockholm/entreprenad-i-stockholms-offentliga-rum/vaxtbaddshandboken/



Växtlista

TRÄD

Acer x freemanii 'Autumn Blaze'	Freemanlönn
Acer negundo	Asklönn
Acer rubrum 'Red Sunset'	Rödlönn
Acer saccharinum	Silverlönn
Acer tataricum	Rysk lönn
Alnus cordata	Italiensk al
Alnus glutinosa	Klibbal
Alnus incana	Gråal
Alnus x spaethii	Berlineral
Betula pendula	Vårtbjörk
Betula pubescens	Glasbjörk
Catalpa bignonioides	Katalpa
Cedrus sp.	Ceder
Celtis occidentalis	Amerikansk bäralm
Cercidiphyllum japonicum	Katsura
Elaeagnus angustifolia	Smalbladig silverbuske
Fraxinus angustifolia	Smalbladig ask
Fraxinus excelsior	Ask
Fraxinus ornus	Mannaask
Ginkgo biloba	Ginkgo
Koelreuteria paniculata	Kinesträd
Liquidambar styraciflua	Ambraträd
Metasequoia glyptostroboides	Kinesisk sekvoja
Paulownia tomentosa	Kejsarträd
Pinus heldrechii	Ormskinnstall
Pinus sylvestris	Tall
Pinus nigra	Svarttall
Platanus x hispanica	Platan
Prunus cerasifera	Körsbärsplommon
Prunus padus	Hägg
Prunus virginiana	Virginiahägg
Pterocarya sp.	Vingnöt
Pyrus sp.	Päron
Salix alba var. Chermesina	Vinterglöd
Salix caprea	Sälg
Sorbus aria	Vitoxel
Sorbus frutescens FK ÅS E	Liten pärlrönn
Sorbus intermedia	Oxel
Sorbus terminalis	Tyskoxel
Styphnolobium japonicum	Pagodträd
Taxodium distichum	Sumpcypress
Tilia tomentosa	Silverlind
Zelkova serrata	Japansk zelkova

Träd i genomsläpplig hårdgjord yta på öppet förstärkningslager. I förgrunden syns en regnbädd med perenner, Växjö

BUSKAR

Aronia sp.	Aronia
Amelanchier sp.*	Häggmispel
Buddleja davidii sp.	Syrénbuddleja
Callicarpa bodinieri var. giraldii	Glaspärlebuske
Cornus sp.*	Kornell
Cotinus cogyggria 'Grace'	Perukbuske
Crataegus monogyna	Trubbhagtorn
Crataegus sp.	Hagtorn
Dasiphora fruticosa	Ölandstok
Diervilla lonicera	Getris
Frangula alnus	Brakved
Hedera helix 'Arborescens'	Buskmurgröna
Hippophaë rhamnoides	Havtorn
Hydrangea arborescens	Vidjehortensia
Lonicera caerulea var. kamtschatica ANJA E	Blåbärstry
Myrica gale	Pors
Parrotia persica	Papegojbuske
Physocarpus opulifolius	Smällspirea
Pyracantha coccinea 'Anatolia'	Turkiskt eldtorn
Rhus glabra 'Laciniata'	Korallsumak
Rosa glauca	Daggros
Rubus odoratus	Rosenhallon
Rubus parviflorus	Nutkahallon
Salix purpurea	Rödvide
Salix rosmarinifolia	Rosmarinvide
Salix viminalis	Korgvide
Spiraea sp.*	Spirea
Syringa sp.*	Syren

GRÄS

Ammophila arenaria	Sandrör
Calamagrostis acutiflora 'Overdam'	Tuvrör
Calamagrostis epigeios	Bergrör
Carex arenaria	Strandstarr
Carex pilosa 'Copenhagen Select'	Starr
Imperata cylindrica	Bomullsgräs
Juncus effusus	Veketåg
Molinia caerulea 'Edith Dudszus'	Blåtåtel
Panicum amarum	Vipphirs
Pennisetum spp.	Borstgräs, flera sorter
Phalaris arundinacea 'Picta'	Randgräs
Sesleria spp.	Äxing, flera sorter
Stipa gigantea	Storfjädergräs

** Inom detta släkte finns rödlistade arter som har en potentiell negativ effekt på svensk inhemsk biologisk mångfald. Undvik dessa arter vid växtval.*

PERENNER

Achillea spp.	Röllika, flera sorter
Agastache spp.	Anisisop, flera sorter
Anaphalis triplinervis	Ulleternell
Anemone coronaria	Bukettanemon
Anemone sylvestris	Tovsippa
Anemone tomentosa 'Robustissima'	Silvr. Höstanemon
Artemisia Schmidtiana	Krypmalört
Aster macrophyllus 'Twilight'	Glandelaster
Astrantia major 'Shaggy'	Stjärnflocka
Bistorta amplexicaulis	Blodormrot
Brunnera macrophylla	Kaukasisk förgätmigej
Calamintha nepeta	Stenkyndel
Ceratostigma plumbaginoides	Blåblomma
Coreopsis verticillata	Höstöga
Crambe maritima	Strandkål
Dianthus carthusianorum	Brödranejlika
Echinacea spp.	Solhatt, flera sorter
Eremurus spp.	Stäpplilja, flera sorter
Eryngium maritimum	Martorn
Euphorbia polychroma 'Bonfire'	Gulltörel
Gaura lindheimeri	Sommarljus
Geranium spp.*	Näva, flera sorter
Gypsophila paniculata	Brudslöja
Helianthus salicifolius	Skobandssolros
Helleborus spp.*	Hybridjulros, flera sorter
Hemerocallis spp.	Dagliljor
Hosta 'Purple Heart'	Funkia
Hylotelephium spp.*	Kärleksört, flera sorter
Iris spp.*	Iris, flera sorter
Knautia macedonica	Grekisk vädd
Liatris pycnostachya	Rosenstav
Lychnis flos 'Cuculi'	Gökblomster
Lythrum salicaria	Fackelblomster
Nepeta faassenii	Kantnepata
Oregano 'Herrenhausen'	Oregano
Persicaria spp.	Ormrot, flera sorter
Persicaria Amplexicaulis	Blodormrot
Phlox spp.	Flox, flera sorter
Potentilla nepalensis	Indisk fingerört
Potentilla tridenta 'Nuuk'	Grönlandsfingerört
Pulsatilla vulgaris	Backsippa
Salvia nemorosa 'Sensation rose'	Salvia
Sanguisorba officinalis	Blodtopp
Sanguisorba tenuifolia	Pimpinell
Scabiosa ochroleuca	Gulvädd
Thalictrum spp.	Ruta, flera sorter
Tricyrtis hirta	Skugglilja
Verbascum chaixii 'Album'	Franskt kungsljus
Verbena spp.	Verbena, flera sorter
Veronica longifolia 'Blauriesin'	Strandveronika
Veronica spicata	Axveronica
Veronicastrum virginicum 'Album'	Kransveronika

LÖKAR

Allium carinatum ssp. pulchellum	Dropplök
Allium sphaerocephalon	Klotlök
Allium flavum	Dagglök
Allium 'Purple Sensation'	Kirgislök
Anemone blanda 'White Splendours'	Vit balkansippa
Camassia chamach	Stjärnhyacint
Camassia leichtlinii 'Alba'	Vit stjärnhyacint
Crocus ancyrensis	Crocus
Crocus tommasinianus	Crocus
Galanthus elwesii	Turkisk snödroppe
Hyacinthoides hispanica	Spansk klockhyacint
Hyacinthoides hispanica 'Excelsior'	Spansk klockhyacint
Narcissus 'February Gold'	Cyklamennarciss
Narcissus 'Trena'	Cyklamennarciss
Tulipa maximowiczii	Smalbladig tulpan

** Inom detta släkte finns rödlistade arter som har en potentiell negativ effekt på svensk inhemsk biologisk mångfald. Undvik dessa arter vid växtval.*

Martorn, krypmalört och ulleternell

Franskt kungsljus

Verbena

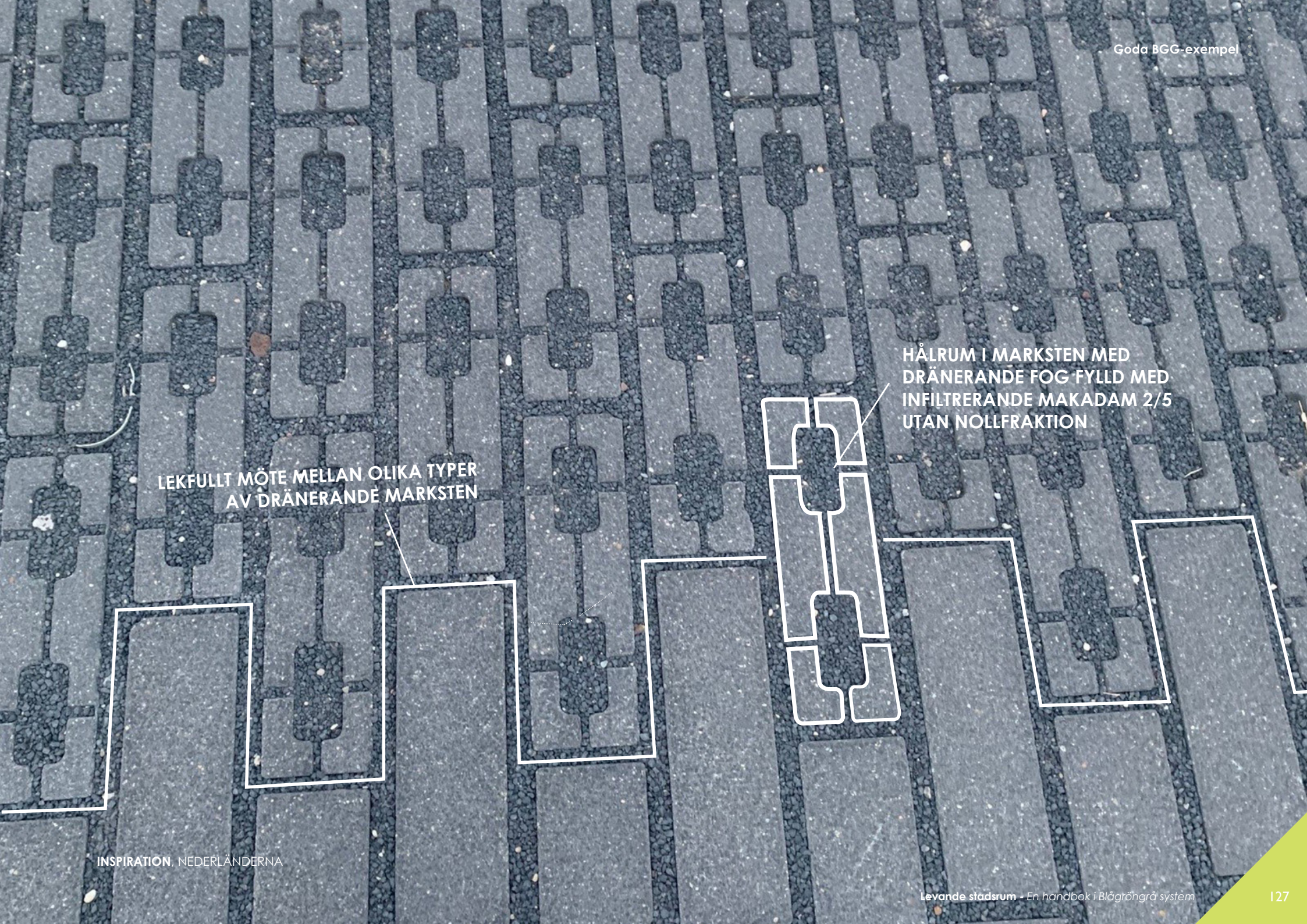
Klotlök

Blodtopp

GODA BGG-EXEMPEL

SHARED-SPACE MED DRÄNERANDE BELÄGGNING

INSPIRATION, NEDERLÄNDERNA



INSPIRATION, NEDERLÄNDERNA

INSPIRATION, NEDERLÄNDERNA

INSPIRATION, NEDERLÄNDERNA

INSPIRATION, NEDERLÄNDERNA

#bluegreengrey
www.edges.se/bluegreengrey
info@edges.se
+46(0)10-174 70 00
Södra Bulltoftavägen 51, Malmö