

Dagvattenhantering med BGG-system

En fallstudie av Birger Jarlsgatan

Betty Sellgren



Dagvattenhantering med BGG-system

En fallstudie av Birger Jarlsgatan

Betty Sellgren

Institutionen för naturgeografi
GE9026 Miljövård och fysisk planering, examensarbete 30 hp
MA 112
Masterprogram i miljövård och fysisk planering (120 hp)
Vårterminen 2023
Handledare: Britta Sannel
Examinator: Salim Belyazid
Bedömare: Maria Carmen Prieto Hierro
© Betty Sellgren



Stockholms
universitet

Sammanfattning

I denna studie har möjligheten att använda blågröngrå system (BGG-system) för översvämningshantering i stadsmiljöer undersökts. Med Birger Jarlsgatan som fall har en kombination av litteraturstudier, platsbesök och geografiskt informationssystem (GIS) använts för att undersöka den fysiska möjligheten att placera BGG-system på platsen och om systemen kan minska områdets sårbarhet för översvämningar. Resultatet visade att det troligen går att installera BGG-system längs Birger Jarlsgatan, med undantag för körfältet, samtidigt som områdets karaktär och funktioner kunde bevaras. Vidare visade resultatet att BGG-system kan minska områdets sårbarhet för översvämningar men att systemen inte är tillräckliga för att hantera ett 100-årsregn. För att området ska kunna hantera ett 100-årsregn behöver antingen en större del av avrinningsområdet bestå av BGG-system eller alternativa lösningar användas.

Nyckelord

BGG-system, dagvattenfördröjning, dagvattenhantering, översvämningar, stadsmiljö

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Syfte.....	2
2	Bakgrund	3
2.1	Klimatförändringar och ökad nederbörd	3
2.2	Östermalm sårbart för översvämningar.....	3
3	Metod	6
3.1	Fallstudiebaserad forskning	6
3.1.1	Litteraturstudie.....	6
3.1.2	Platsbesök	7
3.1.3	GIS	8
3.2	Analys av data.....	8
3.3	Presentation av material	9
4	BGG-system	10
4.1	Hårdgjord yta	11
4.2	Dränerande yta	11
4.3	Vidsträckt dränerande beläggning	13
4.4	Träd i hårdgjord yta	13
4.5	Regnbädd	14
4.6	Vegetationsyta	16
4.7	Svackdike	17
4.8	Sammanfattning av systemen	19
5	Studieområde.....	20
5.1	Studieområdets delar	20
5.1.1	Stureplan nordost om Birger Jarlsgatan	20
5.1.2	Stureplan sydväst om Birger Jarlsgatan	21
5.1.3	Birger Jarlsgatan	22
5.2	Kommande planer.....	23
5.3	Trafik	24
5.4	Markuppbyggnad	24
5.5	Ledningsnät och ledningar	24
5.6	Markbeläggning	25
5.7	Lutning.....	25
5.8	Vegetation	25
5.9	Hydrologiska förhållanden.....	25
5.10	Sediment.....	26
6	Resultat.....	27
6.1	BGG-system på Birger Jarlsgatan.....	27
6.1.1	Öppet förstärkningslager	28

6.1.2	BGG-system.....	29
6.2	Skillnad i ytavrinning.....	35
7	Diskussion.....	37
7.1	Konsekvenser av BGG-system på Birger Jarlsgatan	37
7.1.1	Direkta effekter på stadsrummet	37
7.1.2	Säkerhet	38
7.1.3	Framkomlighet	39
7.1.4	Drift och underhåll	40
7.1.5	Kostnader	41
7.2	Alternativa lösningar	42
7.3	Generaliserbarhet för andra stadsmiljöer	42
7.4	Studiens begränsningar och osäkerheter.....	43
8	Slutsats	44
	Tack.....	45
	Referenser	46
	Appendix	49
	Appendix A: Steg i GIS.....	49

1 Inledning

De globala utsläppen fortsätter öka och de senaste mätningarna visar att 1,5 gradersmålet inte kommer kunna uppnås till 2030 vilket betyder att den globala medeltemperaturen kommer fortsätta öka (IPCC, 2022). Konsekvenser av temperaturhöjningen är bland annat att den globala nederbörden, avdunstningen och avrinningen ökar. Klimatförändringarna påverkar också förekomsten och exponeringen av hydrologiska extremer. Klimatmodeller förutspår en ökning i regnintensitet, lokala översvämningar och risken för torka. Eftersom den globala uppvärmningen fortsätter och dess konsekvenser är oundvikliga, kommer vi behöva anpassa oss efter det nya klimatet (IPCC, 2022).

Även Sveriges klimat blir varmare och mer nederbördsrikt. Att klimatet blir varmare innebär en förstärkning av det hydrologiska kretsloppet eftersom varmare luft kan innehålla mer vattenånga än kall luft. Följden blir att både avdunstningen och nederbörden ökar. SMHI (2022) visade att Sveriges årsnederbörd under 1970-talet hade ett medelvärde på omkring 600 mm men under de senaste 50 åren har ökat till ett genomsnitt på nästan 700 mm per år. Det är inte bara säsongsnederbörden som ökat, SMHIs klimatindikatorer visar också på förändringar i extrem nederbörd. Sedan 1900-talet har den extrema nederbörden under vintertid ökat. Vidare har även den största dygnsnederbörden ökat i Sverige.

Klimatförändringarna har i vissa fall redan fått en påverkan på våra fysiska förhållanden, såsom vattendrag, större sjöar, naturmiljö, stränder, bebyggelse, vägar, järnvägar, hamnar, andra kommunikationsanläggningar och anläggningar för energi- och vattenförsörjning (Boverket, 2010). Risken för översvämningar blir större i och med ökad nederbörd. Eftersom traditionell planering har fokuserat på grå infrastruktur som vägar består vår moderna stadsmiljö idag till stor del av hårdgjorda ytor. Med majoriteten hårdgjorda ytor som saknar förmåga att infiltrera vatten har vi rubbat vattnets naturliga kretslopp. I stället har vi en dagvattenhantering med brunnar och ledningsnät men de är inte dimensionerade för ökade nederbördsmängder. Dagens dagvattensystem behöver kompletteras (ibid).

Metoder som gröna tak, vegetationsbäddar och gatuträd är vad man kallar gröna och blå infrastrukturlösningar, där det gröna är vegetation och blå vatten. Gröna och blå lösningar handlar om skyddande, hållbart nyttjande och ett återställande av naturliga eller modifierade ekosystem samtidigt som de ska bidra till mänskligt välmående och biologisk mångfald (IPCC, 2022). Blågrön infrastruktur (*blue-green infrastructure*) har bevisad positiv effekt för dagvattenhantering i stadsmiljöer. Blågrön infrastruktur kan användas för att anpassa och minska översvämningar samtidigt som de förbättrar städers sociala och miljömässiga välmående (Sanchez & Govindarajuli, 2023). Studier visar att blågrön infrastruktur fördelaktigt kan användas i stadsmiljöer på grund av sin effektivitet i infiltrering och rening av dagvatten (Ding *et al.*, 2019; Hunt *et al.*, 2006). Vid jämförelser mellan grå infrastruktur och grön infrastruktur för dagvattenhantering var den gröna infrastrukturen överlägsen i hanterandet av stora dagvattenvolymer (Jarden *et al.*, 2016). Blågrön infrastruktur har en god förmåga att minska översvämningstoppar, avrinningsvolymer och föroreningsbelastningar, samtidigt som de ökar avrinningsfördröjningstider, grundvatteninfiltration och evapotranspiration (Davis *et al.*, 2009).

Det finns även gråa lösningar för dagvattenhantering och avledning som vägar, avlopp och ledningsnät. Grå lösningar som avlopp och ledningsnät är det som används mest idag. Ny forskning visar däremot på alternativa gråa dagvattenlösningar som kan användas i stadsmiljöer. Dränerande beläggningar (*permeable pavements*) har visat goda resultat och sägs praktiskt taget kunna täcka alla typer av regn eftersom konstruktionen har en så hög infiltreringskapacitet (Hashim *et al.*, 2022; Svensk Markbetong, 2019). Dränerande beläggningar minskar ytvavrinningen vilket minskar risken för översvämningar, men har även en renande effekt på dagvattnet (Brattebo and Booth, 2003; Toronto and Region Conservation Authority, 2008).

En ny del av forskningen diskuterar möjligheten att kombinera blågröna system med grå system – blågröngrå system (BGG-system). BGG-system har kapacitet att klara både vattenrening, kraftiga regn och har god växtetablering samtidigt som de behåller hårdgjorda ytor för transport (Edge, 2019). En blandning av grön, blå och grå infrastruktur kommer sannolikt vara den bästa anpassningsstrategin för klimatförändringar eftersom de kompletterar varandra (Alves *et. al.*, 2019). Den grå infrastrukturen går inte att ta bort i stadsmiljöer och behöver därför integreras med den blågröna för en hållbar stadsutformning. Grå infrastruktur har ansetts vara det kostnadseffektiva alternativet men forskning visar att BGG-system kan konkurrera med traditionella grå system i ett kostnadsperspektiv (Bakhshipour *et. al.*, 2019).

Klimatförändringarna fortsätter att öka och medför mer frekventa och intensiva skyfall. Metoder för förbättrad dagvattenhantering finns men hur väl dessa går att anpassa till redan etablerade stadsmiljöer där utrymmet är begränsat är oklart. Birger Jarlsgatan är en av Stockholms längsta och mest trafikerade gator och sträcker sig från Norrmalm till Östermalm. Området kring Birger Jarlsgatan har blivit utpekad som riskområde vid ett större skyfall (Stockholm stad, 2018). Vad finns det för möjligheter att implementera BGG-system på en plats med begränsat utrymme och där stadsmiljön redan har en etablerad utformning och funktion?

1.1 Syfte

Syftet med studien är att undersöka möjligheten att placera BGG-system på en del av Birger Jarlsgatan och Stureplan för att minska områdets sårbarhet för översvämningar. Forskning menar att BGG-system är en effektiv metod för dagvattenhantering men hur väl fungerar systemen i en urban miljö där utrymmet är begränsat och alla platser redan har en funktion. Följande frågeställning har undersökts:

Kan Östermalms sårbarhet för översvämningar minskas genom BGG-system på Birger Jarlsgatan och Stureplan?

2 Bakgrund

2.1 Klimatförändringar och ökad nederbörd

IPPC (2022) rapporterar att forceringen av växthusgaser (GHG) har lett till ökade skillnader i nederbörd mellan våta och torra årstider i tropiska landområden och en tydlig ökning av nederbörd på nordliga breddgrader. Ökad torka har observerats i torra sommarklimat som i Medelhavet, sydvästra Australien, sydvästra Sydamerika, Sydafrika och västra Nordamerika och kraftiga nederbördshändelser i Nordamerika, Europa och Asien. Växthusgasutsläpp är sannolikt den främsta drivkraften bakom den globala intensifieringen av torka och kraftig nederbörd. Dessa förändringar i nederbördsmönster och extremer har en betydande inverkan på tätbefolkade områden världen över.

De antropogena klimatförändringar, vilka är orsakade av mänsklig aktivitet, är det som bidragit till den ökade sannolikheten för extrem nederbörd. Detta har i sin tur ökat frekvensen och omfattningen av översvämningar. Förändrade nederbördsmönster och översvämningar innebär en betydande utmaning för dagvattenhantering i urbana miljöer. För att hantera och minimera riskerna behövs anpassningar och förbättringar i infrastruktur och system för dagvattenhantering. Dagvattensystemen behöver bli mer motståndskraftiga (IPCC, 2022).

I Stockholms miljö finns det idag en kapacitet att hantera ett 10-årsregn (Stockholm stad, 2018a). Ett 10-årsregn är ett regn som statistiskt sett förekommer vart tionde år och har en regnintensitet på 21 mm/30 min. Under ett 10-års regn avleds i genomsnitt 90 procent av ytvattnet genom ledningsnätet medan resterande tas hand om på annat sätt, till exempel genom grönytor (MSB, 2017).

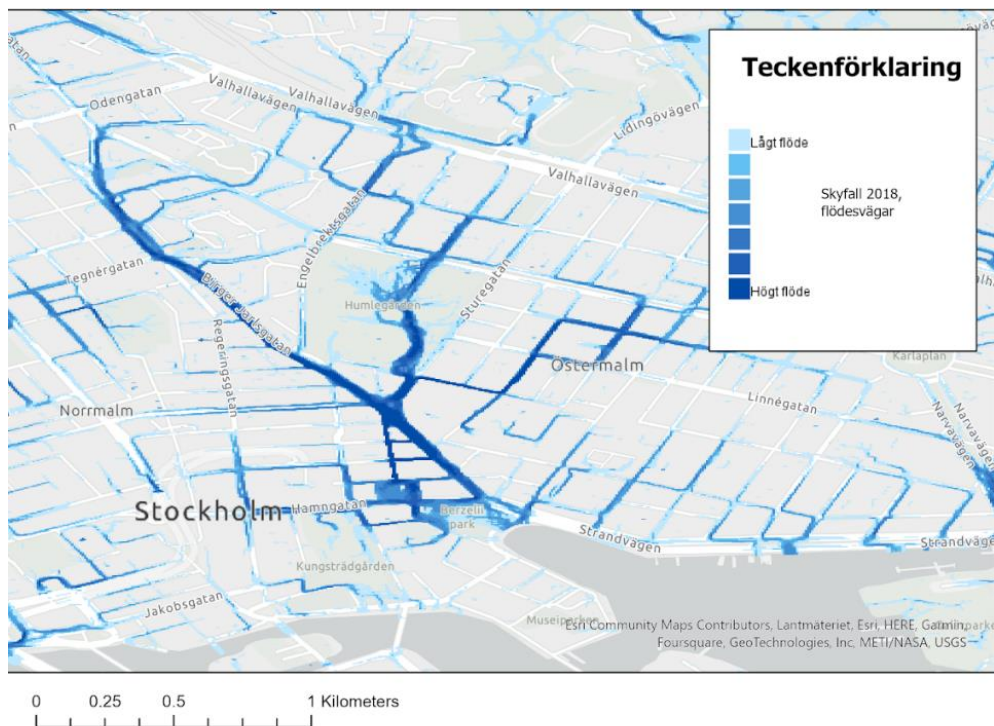
Med klimatförändringar blir extremväder vanligare vilket betyder att regnmängder som tidigare varit ovanliga nu kommer bli vanligare. Ett 100-årsregn är ett regn som statistiskt sett återkommer vart hundra år och har en regnintensitet på 44 mm/30 min. Vid ett 100-årsregn avleds i genomsnitt endast 40 procent av ytvattnet genom ledningsnät. Resterande 60 procent avleds på annat sätt vilket ofta inte är alls i stadsmiljöer (MSB, 2017). Om Stockholm har en kapacitet att hantera ett 10-årsregn med 21 mm/30 min betyder det att ett 100-årsregn med 44 mm/30 min kommer orsaka stora översvämningar och med klimatförändringar förväntas regnintensiteter som dessa bli vanligare.

2.2 Östermalm sårbart för översvämningar

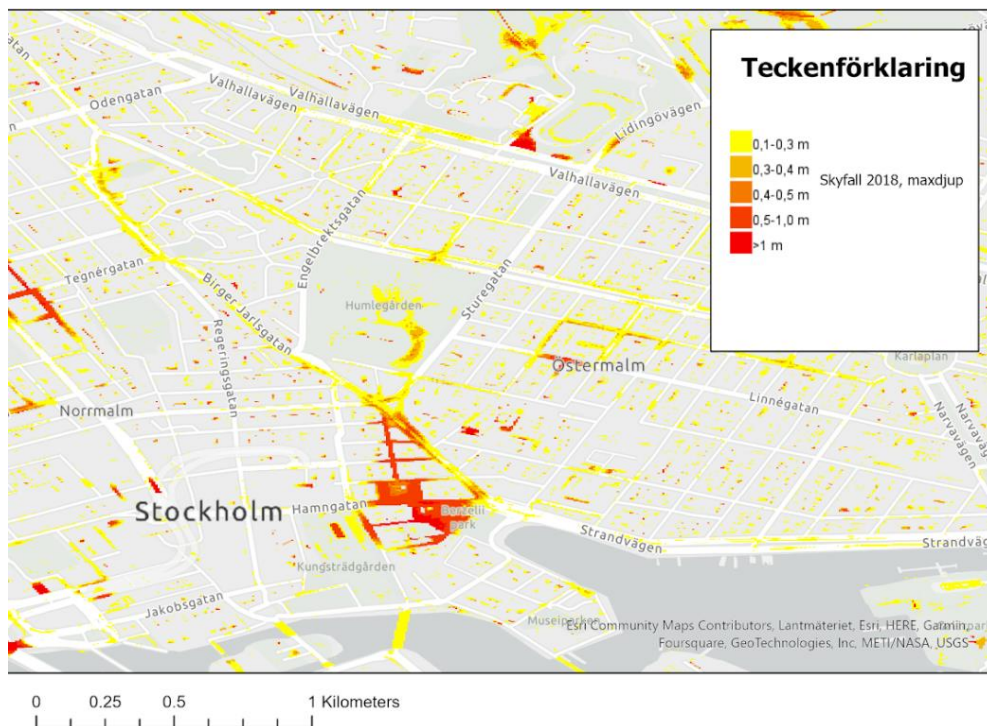
Stockholm stad (2018a) har utformat en skyfallsmodellen över maximalt vattendjup (under simuleringstiden och vid simuleringsslut) och maximala flöden i Stockholm simulerat med ett CDS-regn med 100-års återkomsttid som kan tänkas råda år 2100 (klimatfaktor på 1,25) och med en varaktighet på 6 timmar. Skyfallsmodellen visar att det finns flera områden i Stockholm som riskerar höga dagvattenflöden och ett maxdjup på mer än en meter vid ett 100-årsregn. Modellen visar att Östermalm/City är en plats i Stockholm som kommer drabbas hårt vid ett 100-årsregn. Platserna Norrmalmstorg, Berzelii park och Biblioteksgatan har ett maxdjup på mer än en meter vilket betyder att områdena skulle stå i en meter vatten vid ett 100-årsregn. Modellen visar även att Birger Jarlsgatan har det högsta flödet av dagvatten för hela området. Figur 2.2.1 och 2.2.2 visar maxdjup och flödesvägar för området.

Det finns flera anledningar till att denna del av Östermalm är sårbar för översvämning. En anledning är den höga andelen hårdgjorda ytor. Hårdgjorda ytor har ingen möjlighet att infiltrera dagvatten utan samlar ihop det och leder det vidare vilket orsakar översvämningar. En annan orsak till stadsdelens sårbarhet är att platsen är en del av ett stort avrinningsområde. Normmalmstorg, Berzelii park, Biblioteksgatan och södra delen av Birger Jarlsgatan är placerat lågt i avrinningsområdet vilket gör områdena extra sårbara. Ytterligare skäl till just Birger Jarlsgatans sårbarhet och anledningen till att gatan har det höga maxflödet är att gatan är byggd på ett dränerat vattendrag – Rännilen (se figur 2.2.3). Trots att vattendraget har dränerats så flödar vattnet fortfarande i samma riktning eftersom topografin är densamma och detta gör gatan sårbar.

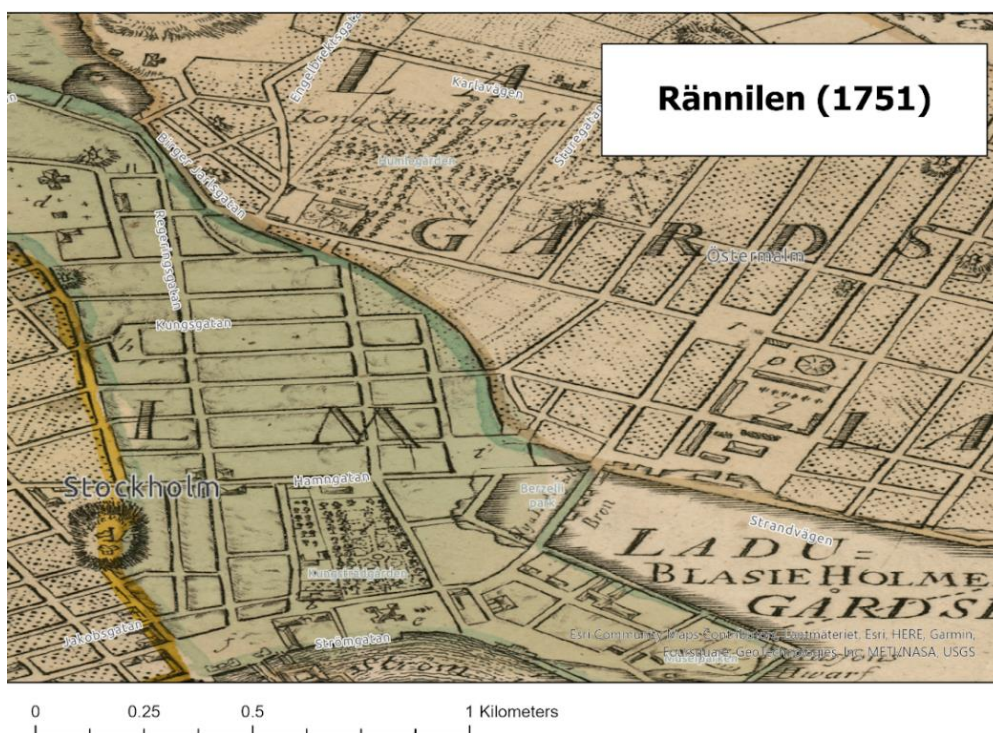
Det är inte bara översvämningens risken som gör området sårbart. Under Birger Jarlsgatan ligger Östermalmstorgs tunnelbana med sin entré mitt på Birger Jarlsgatan. Entrén är en öppen trappa ned till tunnelbanan utan något skydd för vatten. Med de höga flödena som kan bildas på Birger Jarlsgatan vid ett skyfall riskerar tunnelbanan att översvämmas vilket kan innebära stora ekonomiska kostnader men även potentiellt livsfara.



Figur 2.2.1. Maximalt vattenflöde under ett 100-årsregn med klimatfaktor 1,25. Miljödataportalen – Skyfallsmodellen: flödesvägar. Stockholm stad (2018a)



Figur 1.2.2. Maximalt vattendjup under ett 100-årsregn med klimattfaktor 1,25. Miljödataportalen – Skyfallsmodellen: flödesvägar. Stockholm stad (2018a)



Figur 2.2.3. Rännilen 1751. Biurman, Georg (1700–1755), 1 juli 1751, Stockholms stadsarkiv Stockholms stadsarkivs kartsamling NS 442, SE/SSA/0234/J 2 A:18 Charta Öfwer Stockholm Med des Malmar och Förstäder, Georg Biurman 1751

3 Metod

Möjligheten att minska sårbarheten för översvämningar på Östermalm med BGG-system har undersökts genom en fallstudie av Birger Jarlsgatan. Datainsamlingen bestod av litteraturstudier, platsbesök och analyser genom GIS (geografiskt informationssystem). Förslaget på en förbättrad dagvattenhantering är framtaget genom jämförelser mellan BGG-systemen och studieområdets platsspecifika egenskaper. Visualisering av resultatet är genom kartor, tabeller och illustrationer skapade i ArcGIS Pro, Excel och Procreate.

3.1 Fallstudiebaserad forskning

Fallstudiebaserad forskning är en forskningsmetod som används för att skapa en djupgående och mångfacetterad förståelse av en komplex fråga i dess verkliga sammanhang (Gummesson, 2011). En fallstudie är en empirisk undersökning av ett samtida fenomen inom dess verkliga kontext och en bra metod när gränsen mellan fenomenet och kontexten inte är tydlig (Yin, 2009).

Fallstudie har använts som metod i denna studie eftersom det finns en etablerad teori om BGG-system men det behövs mer kunskap om hur väl de går att applicera i stadsmiljöer där en etablerad struktur och form finns. Birger Jarlsgatan valdes som fall eftersom området har en hög sårbarhet för översvämningar samt har en tätbebyggd stadsstruktur vilket ofta är fallet i stadsmiljöer och därför en bra representation.

Fallstudiebaserad forskning har en stor frihet i valet av datainsamlingsmetoder med begränsad regelstyrning (Gummesson, 2011). I denna studie finns två huvudsakliga undersökningsdelar. Den ena är om BGG-system som teori och metod för dagvattenhantering, och den andra studieområdets utformning och förutsättningar. Datainsamlingsmetoden för BGG-systemen var genom en litteraturstudie där framför allt två handböcker specialiserade inom ämnet användes, men även kompletterande forskning och dokument. Datainsamling för studieområdet var också genom litteratur, men även genom platsbesök och kartanalyser i GIS.

3.1.1 Litteraturstudie

Litteraturstudie kommer från ett förhållningssätt att ingen tanke är så ny att den inte redan kan relateras till en betydande litteratur (Groat och Wang, 2013). All forskning kräver litteraturmedvetenhet vilket uppnås genom att identifiera relevant litteratur till forskningsämnet och bli bekant med den. Även om forskning kräver originellt tänkande kan ingen forskning bedrivas de novo; all forskning bör både växa ifrån, och bidra till, relevant litteratur (ibid).

BGG-system

BGG-system är ett relativt nytt fenomen inom forskningsvärlden och ännu mer inom stadsplaneringen men det är inte helt utforskat. Det finns litteratur både i form av handböcker och forskningsartiklar. För att skapa en litteraturmedvetenhet i frågan har olika exempel på och konstruktioner av BGG-system analyserats. Den svenska handboken, *Levande stadsrum – en handbok i blågröngrå system* har varit en viktig källa för förståelsen av BGG-systemen. Allt ifrån konstruktion, funktion och behov. Handboken är framtagen av Edge (2019) i samarbete med Göteborg, Halmstad, Uppsala, Malmö, Lund, Norrköping, Helsingborg, Nacka, Växjö och Karlskrona kommun.

Den amerikanska handboken, *Green Streets Handbook*, har också varit en viktig källa för förståelsen för BGG-systemen. Handboken är framtagen av United States Environmental Protection Agency (EPA) (2021) och är avsedd att hjälpa stadsplanerare att välja, designa och implementera miljövänlig infrastruktur.

Vidare har forskningsfältet utforskats för att få en djupare förståelse om BGG-system och hur de verkar i praktiken. Forskningsmaterialet har hämtats från två olika forskningsportaler: EBSCO Discovery Service (EDS) och Google Scholar. Alla artiklar har genomgått en "peer review", vilket är en granskningsprocess där publikationerna granskas av ämnesexperter innan de accepteras för publicering. Sökningarna organiserades efter olika nyckelord (se tabell 3.1.1) relaterade till ämnet och resultaten sorterades efter relevans.

Studieområde

Datainsamlingen för studieområdet är utformad utifrån det insamlade materialet om BGG-system. För att installera BGG-system finns olika krav som man behöver förhålla sig till; till exempel ledningsnät, trafikförhållanden, sediment och så vidare. Kraven från BGG-systemen är sammanställda i tabell 4.8.1. Dessa kriterier utgjorde grunden för den information som samlades in om studieområdet.

Den huvudsakliga datainsamlingsmetoden för studieområdet var statliga och kommunala dokument. Dokumenten var framför allt från Stockholm stad men även från Trafikverket och Stockholm Vatten och Avfall.

Tabell 3.1.1. Sökord för litteraturstudie BGG-system

Grå dagvattenlösningar	Blå och gröna dagvattenlösningar	Blågröngrå dagvattenlösningar
<i>Concrete block pavement</i> <i>Permeable pavements</i> <i>Permeable pavements water tree</i>	<i>Green infrastructure cities</i> <i>Bioretention cells</i> <i>Bioretention cells design</i> <i>Stormwater management bioswale</i> <i>Rain garden</i> <i>Stormwater management geo-design</i> <i>Blue green infrastructure</i> <i>Bioswale floodings</i>	<i>Blue green grey infrastructure</i> <i>Green blue grey systems urban surface water</i> <i>Green blue grey system urban floods</i> <i>Green blue grey systems stormwater</i> <i>Green infrastructure urban floods</i>

3.1.2 Platsbesök

Även platsbesök utfördes för att samla in information om studieområdet. För att få en känsla av studieområdet besöktes platsen flera gånger mellan månaderna januari och april. Det var kortare besök som syftade till att undersöka platsens generella utformning samt hur platsen används. Under besöken dokumenterades platsen genom bilder. Besöken skedde både under dagtid och kvällstid.

Under ett av platsbesöken undersöktes gatans lutning eftersom lutning var en avgörande faktor för huruvida det går att installera ett BGG-system. Lutningen mättes på tre ställen på studieområdet, längst norrut vid Stureplan, i mitten av studieområdet vid

Östermalmstorgs tunnelbanenedgång samt längst söderut vid Birger Jarlsgatans slut. Lutningen mättes med ett vattenpass.

Även vegetationen på studieområdet utvärderades genom platsbesök. Genom att undersöka träden och lövens utseende och jämföra med litteratur drogs slutsatsen att träden på studieområdet är lindar. Även trädens kvalitet undersöktes genom platsbesök, till exempel om det gick att se rötterna genom markbeläggningen vilket är ett negativt hälsotecken för träden.

3.1.3 GIS

GIS användes för att undersöka studieområdets avrinningsområde. Avrinningsområdet är relevant för att kunna estimerar BGG-systemens förmåga att fördröja dagvatten. För att undersöka avrinningsområdet användes en DEM (Digital Elevation Model) vilket är en 3D-datorgrafikrepresentation av höjddata för att representera terräng. Datat hämtades från Sveriges Lantbruksuniversitets geodatabas och informationen var framtaget av Lantmäteriet. DEM:en hade en upplösning på 2x2 meter med koordinatsystem Sweref99.

Med en DEM som bas gjordes olika hydrologiska analyser för att få fram avrinningsområdet för två bestämda punkter vilka var slutet på Birger Jarlsgatan och vid Berzelii park. Två punkter valdes för att få ett avrinningsområde som också inkluderar Biblioteksgatan och Norrmalmstorg. Alla steg i GIS-analysen finns beskrivna i appendix A.

3.2 Analys av data

Inom fallstudier hanteras ofta diffusa data och ingen beskrivning av en fallstudie är genomgående objektiv, den innehåller alltid analys och tolkning (Gummesson, 2011). Analys inom fallstudier sker därför ofta genom jämförelser. Data jämförs med data och det egna fallet (ibid). Analysen i denna studie har genomförts genom jämförelser. Kunskap från studieområdet har jämförts med kunskap om BGG-systemen för att vidare kunna ge ett förslag på hur de två skulle fungera ihop. För att enklare kunna jämföra studieområdet med BGG-systemen sammanfattades informationen om BGG-system i en tabell (tabell 4.8.1). Förslaget som är presenterat i denna studie är bara ett av flera möjliga.

Jämförelsen mellan BGG-systemen och studieområdet bestod av två delar. Den första delen handlade om den fysiska möjligheten att installera BGG-system på studieområdet och den andra delen om vilka BGG-system som kan installeras på studieområdet för att minska sårbarheten för översvämningar utan att ändra stadsmiljöns karaktär och funktion mycket.

Analysen bestod även av att avgöra BGG-systemens nytta i fördröjning av dagvatten. Detta gjordes genom enklare beräkningar av BGG-systemen fördröjningsvolym baserad på det förslag som presenterats för studieområdet. En uppskattning av skillnaden mellan dagens dagvattenhantering och BGG-systems dagvattenhantering gjordes också. Skillnaden i ytavrinning utan och med BGG-system är en generalisering av verkligheten. I estimeringen av dagvattenavrinning inkluderas endas några få faktorer, till skillnad från verkligheten som har betydligt fler. Dessutom är andelarna som används i beräkningarna generaliseringar hämtade från MSB (2017). Verkligheten är mer komplicerad. Syftet med analysen är att ge kontext till BGG-systems förmåga att fördröja dagvatten och inte att ge en exakt beskrivning av verkligheten.

3.3 Presentation av material

Visualisering av resultatet har gjorts genom kartor, tabeller och illustrationer. Kartorna har gjorts i ArcGIS Pro, tabellerna i Excel och illustrationerna i Procreate.

Kartorna är gjorda i programmet ArcGIS Pro med data hämtat från olika geodatakällor (Sverige Lantbruksuniversitet/Lantmäteriet, Stockholm stads öppna geodatabas samt Stockholmskällan). Det är endast en karta där ändringar i datat har gjorts vilket är kartan över studieområdets avrinningsområde. I de andra kartorna är den geografiska informationen den samma som det som hämtats. Det som gjorts i GIS är att visualisera materialet på ett tydligare sätt anpassat för studien.

Två tabeller har använts för presentation. En tabell över sökorden som använts i litteraturstudien och en tabell som sammanfattar BGG-systemen. Tabellen är gjord i Excel.

Alla illustrationer presenterade i resultatet samt illustrationen över studieområdet är egengjorda och har skapats i appen Procreate vilket är en rastergrafikredigeringsapp för digital målning. Övriga illustreringar är hämtade från andra källor som anges i bildbeskrivningarna.

4 BGG-system

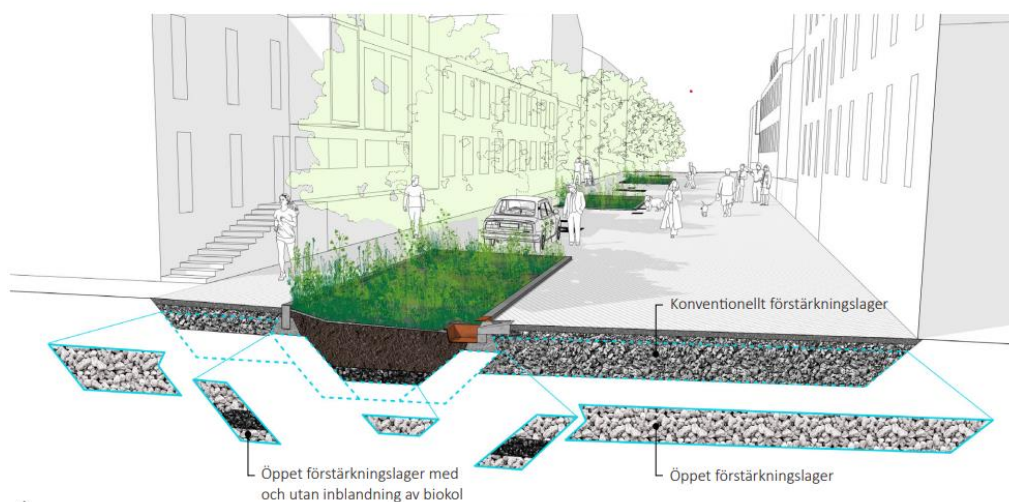
BGG-system är ett samlingsnamn för alla typer av konstruktioner som samutnyttjar yta för dagvattenhantering, vegetation och hårdgjorda ytor. BGG-system är multifunktionella system som syftar till att hantera dagvatten i stadsmiljöer där utrymmet är begränsat (Edge, 2019). Integrerade BGG-system passar i urbana miljöer eftersom de inte bara har den gröna och blåa infrastrukturens tålighet och hållbarhet, utan även tillförlitligheten som grå infrastruktur har (Wang et. al., 2022). Kombinerade system tenderar att vara den bästa strategin ur ett helhetsperspektiv eftersom de inte bara minskar risken för översvämningar, utan även sparar vatten och energi, förbättrar luftkvalitet och ökar kolbindning i våra städer (Alves et.al., 2019). Figur 4.0.1 är en exempelbild på hur BGG-system i en stadsmiljö kan se ut.

Edge (2019) har tagit fram en handbok i BGG-system för stadsmiljöer. Handboken riktar sig till de som planerar, projekterar, anlägger och förvaltar stadsrum med BGG-system. Handboken innehåller ingående förklaringar och konkreta tillvägagångssätt för BGG-system med fokus på planering, dimensionering, val av åtgärd och själva projekteringen.

Gemensamt för alla BGG-system i handboken är att de fördröjer dagvattenavrinningen genom sitt förstärkningslager. Förstärkningslagret utgörs av bergkross där de mindre delarna har sållats bort vilket ger stora hålrum där vatten och luft kan flöda genom. Hålrummen ger materialet en porositet på 30 till 40 procent vilket innebär att upp till 400 liter vatten per kubikmeter öppet förstärkningslager kan omhändertas. BGG-system har en hög hydrologisk konduktivitet för vatten- och gasutbyte eftersom hålrummen är större än i konventionella markmaterial. Den höga konduktiviteten skapar möjlighet att kontrollerat styra vattnets flöde inom systemet och tappa av det till konventionella ledningsnätet. Systemen utformas och dimensioneras olika beroende på hur stor dagvattenvolym de planeras hantera. BGG-system kan hantera allt från mindre regn (1–2 årsregn) till extremregn (>30 årsregn) (Edge, 2019).

EPA (2021) har tagit fram en handbok avsedd att hjälpa statliga och lokala trafikföretag, kommunala tjänstemän, designers, intressenter med flera, att välja, designa och implementera miljövänlig infrastruktur efter platsspecifika förhållanden för vägar och parkeringsplatser. EPA (2021) beskriver system som efterliknar naturens kretslopp och på så vis minskar risken för översvämningar. Handboken utgår från både urbana miljöer och landsbygd.

I följande kapitel beskrivs olika typkonstruktioner som Edge (2019) har tagit fram. Konstruktionerna är kompletterade med information från EPA (2021) samt annan forskning och litteratur. Syftet är att skapa en förståelse för vad det finns för olika dagvattenlösningar för att sedan hitta de mest lämpliga alternativen för studieområdet.



Figur 2.0.1. Illustrering av BGG-system i stadsmiljö med ett öppet förstärkningslager. Illustration: Martin Vysoký, Mia Border, Martin Brattström, Ida Linnersten, Adam Linde och Susanne Sixtensson, Barbora Lišková. Edge (2019)

4.1 Hårdgjord yta

Den första konstruktionen Edge (2019) beskriver är traditionell hårdgjord yta. Hårdgjorda ytor är den traditionella byggtekniken som medför en enkel och billig konstruktion (Svensk Markbetong, 2019). Tät hårdgjord beläggning används ofta för att skapa vägar, torg, parkeringar och gång- och cykelytor då det är tåligt mot trafik. De är vanligen gjorda i asfalt eller betong och saknar förmåga att infiltrera vatten och dagvattnet rinner längs ytan till lågpunkter. Tät hårdgjord yta går att kombinera i ett BGG-system genom bortledning av dagvatten (se figur 4.2.1). Dagvattnet leds längs ytan till brunnar som leder dagvattnet till det öppna förstärkningslagret (Edge 2019).

Byggtekniken innebär däremot en stor resursförlust då den hårdgjorda ytan inte används till något annat än trafik. Genom att öppna överbyggnaden för infiltrering av dagvatten kan, genom moderna byggmetoder, hög bärighet säkerställas samtidigt som stora volymer dagvatten kan magasineras och renas innan det leds vidare till dagvattensystemet (Svensk Markbetong, 2019). Denna konstruktion kallas dränerande hårdgjord yta och beskrivs i följande stycke.

4.2 Dränerande yta

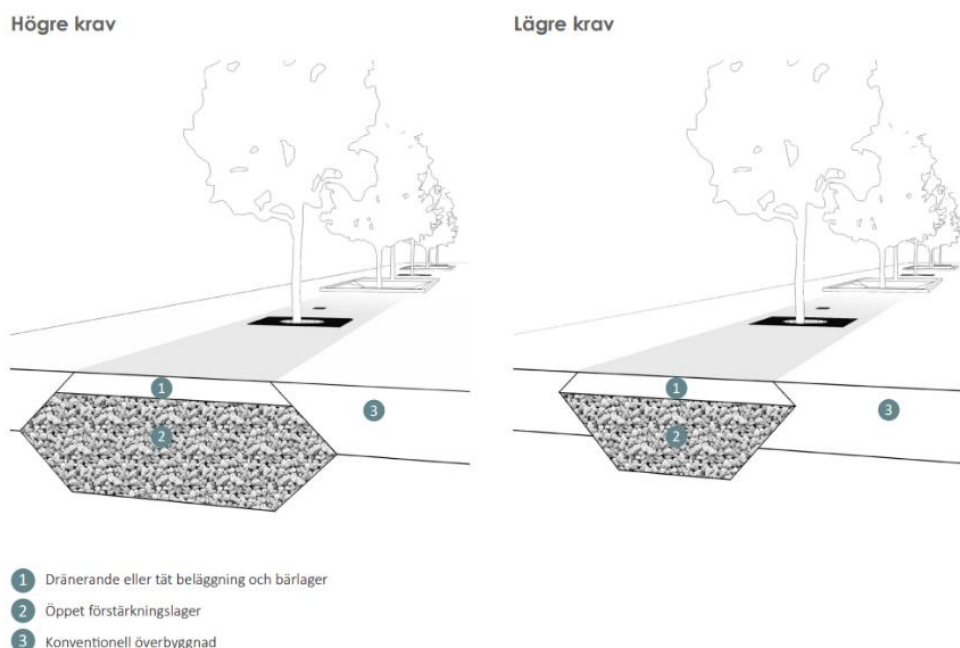
Dränerande ytor (*permeable pavements*) är system med dränerande beläggning vilket tillåter vatten att infiltrera marken i stället för att rinna av. Vattnet filtrerar genom hålrum i beläggningen och fortsätter igenom till det öppna förstärkningslagret. Efter det kan det antingen infiltrera ned i marken eller till ledningsnätet (EPA, 2021). Beläggningen kan vara gjord i olika material, bland annat dränerande asfalt/betong, marksten, natursten eller grus. Beroende på vilken typ av beläggning det är leds antingen vattnet genom hela ytan eller genom fogar mellan täta stenar (Edge, 2019). Se figur 4.2.1 för exempel på konstruktion av dränerande beläggning.

Generellt sett passar dränerande hårdgjorda ytor på platser med mycket aktivitet eftersom ytan kan användas till mer än bara fördröjning av dagvatten. Dränerande

beläggningar har däremot lägre bärighet än traditionell beläggning vilket gör att de inte klarar samma mängd trafik. Det finns dock exempel där dränerande beläggningar har använts för tyngre trafik som på frakthamnar och flygplatser men hur väl det fungerat är oklart (EPA, 2021). Innan man väljer dränerande beläggningar som material bör man utvärdera mängden sediment som finns i området. I områden med mycket skog eller landskap med mycket löv, lera eller jord kan sediment spolats med dagvattnet och sätta igen den dränerande beläggningen. Speciellt om den dränerande beläggningen är placerad lågt i ett avrinningsområde (EPA, 2021). Samma gäller vid kontaminerade områden. Områden som läcker bensen, återvinningscentraler eller lastningskajer är exempel på områden där dränerande beläggningar inte rekommenderas. Även konstruktionsplatser anses olämpliga. Detta gäller framför allt när den dränerande beläggningen infiltrerar ned till marken och grundvattnet (CWP, 1997). Marken bör heller inte luta mer än 5 procent eftersom vattnet då får svårt att infiltrera (Edge, 2019; EPA, 2021).

Internationella studier har visat på dränerande beläggningars förmåga att minska ytavrinningen. På en parkeringsplats i Renton, Washington testade Booth och Leavitt (1999) effekten av dränerande ytor. Alla regn under hösten och tidig vinter 1996 till 1997 observerades och inget av regneventen resulterade i någon ytavrinning på de dränerande ytorna. Samma studie genomfördes fyra år senare där 15 skyfall registrerades. Under denna studie var det bara ett regnevent (44 mm regn) som gav ytavrinning (Brattebo & Booth, 2003).

Det finns flera internationella exempel på dränerande beläggningar men färre nationella. Ett nationellt exempel på dränerande beläggning är västra esplanaden, en central gata i Växjö. Där användes genomsläpplig beläggning för att förlänga livslängden på de 100 år gamla lindarna som går längs allén (Vinnova, 2017). Mittremsan som bestod av en stenmjölsyta hade med åren blivit kompakt vilket som bidragit till att lindarna fått försämrad vitalitet eftersom vattnet inte längre kunde tränga ned från ytan till rotsystemen och att gasutbytet försämrats i marken. Mittremsans uppbyggnad byttes till ett genomsläppligt bärlager. Bytet till dränerande beläggning förbättrade trädens livsmiljö och gjorde att träden kan växa kvar på platsen i minst 30 – 40 år till. Anläggningen skapade även en ökad fördröjningskapacitet på platsen vilket gjorde att mer dagvatten kunde infiltreras och fördröjas. Detta bidrog till att kommunen inte längre behövde bygga ut ett konventionellt rör för dagvattenmagasinering inom området (ibid).



Figur 4.2.1. Illustrering av hårdgjord yta och dränerande yta ovanpå ett öppet förstärkningslager. Illustration: Martin Vysoký, Mia Border, Martin Brattström, Ida Linnersten, Adam Linde och Susanne Sixtensson, Barbora Lišková. Edge (2019)

4.3 Vidsträckt dränerande beläggning

Vidsträckt dränerande beläggning är dränerande hårdgjorda ytor men som täcker ett större område. Vidsträckt dränerande beläggning passar för torg och parkeringsytor där stora hårdgjorda ytor ska anläggas. Likt de andra konstruktionerna så används ett öppet förstärkningslager i stället för ett konventionellt förstärkningslager. Det öppna förstärkningslagret behöver 20 procent djupare än ett konventionellt förstärkningslager. Dränerande beläggningar är trafiktåliga och kan bära en trafikbelastning på trafikklass 2 (Edge, 2019).

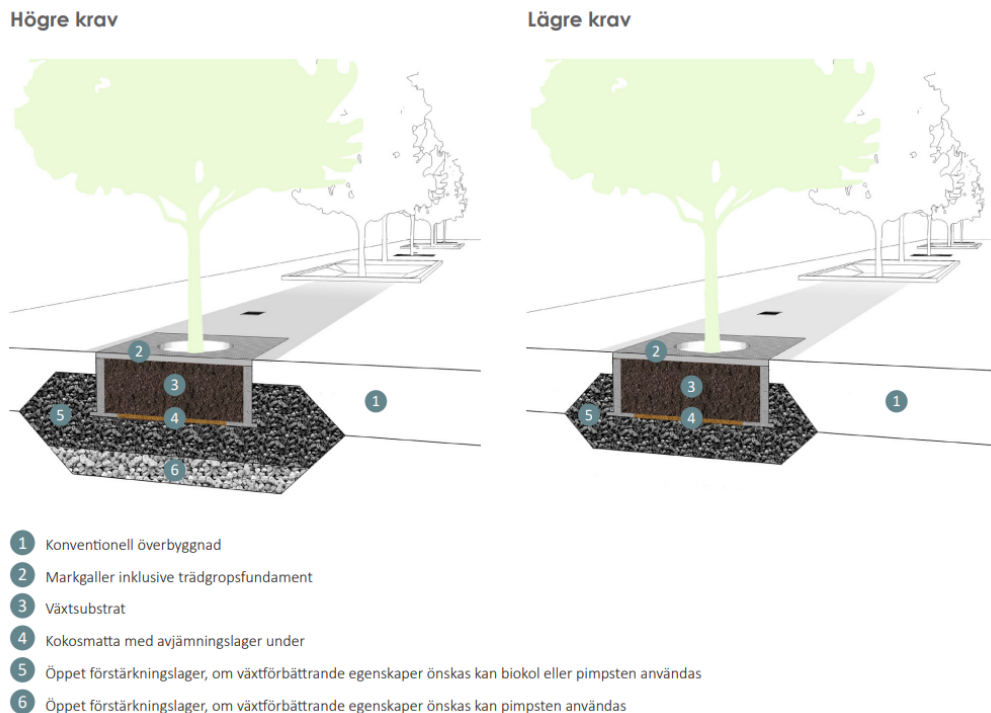
4.4 Träd i hårdgjord yta

Träd i hårdgjorda ytor lämpar sig där det saknas utrymme för större planteringar eller där behovet av hårdgörning är stort, exempelvis vid smalare gång- och cykelstråk (Edge, 2019). Trädet planeras i ett trädgropsfundament som placeras i det öppna förstärkningslagret. Genom öppningar i fundamentets sidor kan trädets rötter växa fritt och få tillgång till en stor växtbäddsvolym med god vattentillgång. Fundamentet där trädet rotar sig, består av växtsubstrat som har hög genomsläpplighet och näringsinnehåll. Under fundamentet ligger det öppna förstärkningslagret som kan blandas med biokol, pimpsten och kompost. Ovanpå konstruktionen kan antingen markgaller placeras där dagvatten kan infiltrera eller så planteras växter direkt i växtsubstratet. Se figur 4.4.1 för konstruktion.

Växtbäddar består av växtsubstrat som kan ha olika uppsättning beroende på vilka fysikaliska krav som eftertraktas. Detta gäller även för de andra konstruktionerna med

växtbädd. Eftersom det främsta syftet för Birger Jarlsgatan är att fördröja dagvatten bör systemen ha ett växtsubstrat med fördröjning som fysikaliskt krav. Vanliga växtjordar är ofta inte optimala för fördröjning eftersom de riskerar att bli kompakta och då inte släppa igenom vatten. Bättre är att använda ett växtsubstrat som är baserat på finmakadam, pimpsten, zeolit och/eller sand, och innehåller en låg lerhalt samt normal till låg halt organiskt material. Denna uppsättning är mer motståndskraftig mot skador från kompaktion, vägsalt eller blöta förhållanden (Edge, 2019).

Träd i hårdgjorda ytor finns på många ställen i Stockholm, exempelvis längs Hornsgatan och Nybrogatan. I Stockholm är det vanligt att systemen är uppbyggda i en växtbädd gjord av skelettjord men de kan också stå i växtbäddar gjorda i kolmakadam (en jord som består av makadam, biokol, näringsberikad biokol och kompost). Skelettjord är en metod där man skapar hålrum i växtbädden vilket ger gasutrymme för trädens rötter, samtidigt som det ger en stabil struktur. Skelettjord kan användas under mycket hårdgjorda ytor och fungerar därför bra i stadsmiljö. Växtbäddar med kolmakadam används ännu inte särskilt mycket i Stockholm eftersom metoden är nyare. Tanken är att skelettjord ska bytas ut till kolmakadam vilket innebär en enklare och snabbare anläggningsprocessen plus att kolmakadam har visat på god tillväxt hos träd (Stockholm stad, 2017a).



Figur 4.4.1. Illustrering av träd i hårdgjord yta. Illustration: Martin Vysoký, Mia Border, Martin Brattström, Ida Linnersten, Adam Linde och Susanne Sixtensson, Barbora Lišková. Edge (2019).

4.5 Regnbädd

Regnbädd är en nedsänkt planteringsyta med syfte att fördröja, rena och avleda vatten från kringliggande yta. Det som är unikt med regnbäddar är att de är skålformade vilket skapar ett utrymme för dagvatten att bli stående innan det sakta infiltrerar ned genom växtbädden (se figur 4.5.1). Detta utrymme kallas för en fördröjningszon eller ett ytligt

magasin och är vanligen 5–20 cm djupt. Blir fördröjningszonen full kan dagvatten breddas till det öppna förstärkningslagret via en styrbrunn vilket förhindrar översvämningar (Edge, 2019).

EPA (2021) beskriver regnbäddar i stort sett likadant som Edge (2019) beskriver en regnbädd. Det beskrivs som ett system med grund ytsänkning som vanligtvis är planterad med inhemska växter för att infiltrera och fördröja dagvatten. Skillnaden är att regnbäddar inte är kopplade till ledningsnätet. Dagvattenvolymer i regnbäddar kan antingen infiltrera i marken eller genom evapotranspiration av växterna. Denna typ av regnbädd passar för semiurbana områden.

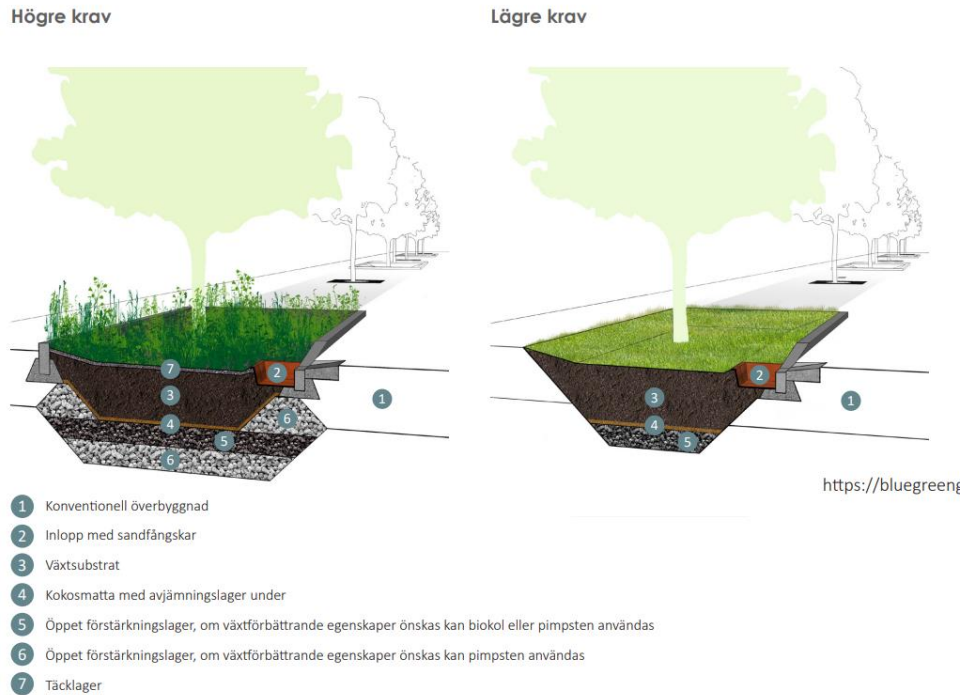
EPA (2021) beskriver däremot två andra konstruktioner som fungerar liknande som en regnbädd men som är kopplade till ledningsnätet precis som Edges (2019) konstruktion av regnbädd. Dessa är *Stormwater Curb Extensions* och *Stormwater planters*. Dessa passar enligt EPA (2021) bättre för urbana miljöer.

Stormwater Curb Extensions beskriver EPA (2021) är modifierade trafikdämpande anordningar som förlänger/breddar kantstenen in i vägbanan för att minska trafikhastigheten samt fånga upp dagvatten från vägar och/eller trottoarer. Systemen består av samma jordblandning som i en regnbädd och vegetationen kan vara marktäckande vegetation, buskar eller träd beroende på platsförhållanden, kostnader och designönskemål. *Stormwater Curb Extensions* kan installeras i befintliga och nybyggda områden. *Stormwater Curb Extensions* kan placeras på flera platser längs en gata eller vid korsningar. De är relativt billiga och när de är rätt dimensionerade kan de ofta behandla hela avrinningsvolymen från gatan där de är belägna (ibid).

Stormwater planters är smala, plattbottnade vegetationsytor som vanligtvis är rektangulära till formen med vertikala väggar (EPA, 2021). Planteringskärnen tar hand om dagvatten från omkringliggande avrinningsområden. Kärnen kan konstrueras på flera sätt men det vanligaste är att den antingen har en öppen botten vilket gör att dagvatten infiltreras till marken, eller en ogenomsläpplig botten vilket gör att när kärlet är mättat leds vattnet till ledningsnätet. Systemen passar bra för urbana områden där utrymmet är begränsat eller i områden med branta sluttningar. De passar även bra för eftermonteringsprojekt eftersom de kan byggas mellan uppfarter, entréer, verktyg och träd, i anslutning till byggnader och parkeringsplatser, och i vägrätter. De kan användas för att fånga upp ytavrinning från vägar eller kopplas till ett stuprör från ett tak. De bör placeras någorlunda nära avrinningskällan (ibid).

Utformningen av dagvatteninloppet är avgörande för att regnbäddar ska kunna hantera stora mängder dagvatten. Det finns enligt Edge (2019) två generella utformningar för att leda dagvatten in till regnbäddar; leda in dagvatten på bred front eller i ett koncentrerat flöde. Leds vattnet in på bred front förläggs regnbäddens ena långsida i nivå med en låglinje så att dagvatten kan rinna obehindrat in i bädden. Leds vattnet in i ett koncentrerat flöde utgörs det av en ledning eller öppning i upphöjt kantstöd som låter vattnet från gatan passera in i regnbädden vid en viss punkt. Fördelen med bred front är att dagvattnet fördelas jämnt över regnbädden vilket minskar risken för erosion och igensättning av tillflödet. Bred front innebär däremot att stora mängder sediment och föroreningar kan föras in i regnbädden vilket kräver mer underhåll av regnbädden. Koncentrerat inlopp innebär större mängder vatten på en begränsad yta och det är då viktigt att ta vattnets flödesenergi i beaktande för att förhindra erosionsskador i regnbädden. Det är även viktigt att ta hänsyn till flödes hastigheten på gatan då vattnet tenderar att rinna förbi inloppet om hastigheten är hög. För att förhindra detta bör inloppet vara minst 50 cm brett (Edge, 2019).

EPA (2021) skriver att regnbäddar fördelaktigt kan placeras i urbana miljöer på exempelvis parkeringsplatser eller längs gator. Viktigt att tänka på när man designar och placerar regnbäddar är platsens förutsättningar ihop med konstruktionens behov. Faktorer som behöver utvärderas i utformandet är storleken på avrinningsområdet (systemen behöver approximativt en yta på ca 5 till 10 procent av avrinningsområdet), lutningen på marken (mindre än 5 procents lutning), jordtyp och markförhållanden samt grundvattennivåer.



Figur 4.5.1. Illustrering av en regnbädd och konstruktion enligt Edge (2019). En konstruktion med högre krav och en med lägre krav. Illustration: Martin Vysoký, Mia Border, Martin Brattström, Ida Linnersten, Adam Linde och Susanne Sixtensson, Barbora Lišková. Edge (2019)

4.6 Vegetationsyta

En vegetationsyta är enligt Edge (2019) en yta med vegetation där vegetationen och växtsubstratet används direkt ovanpå det öppna förstärkningslagret. Vegetationsytor har en enklare konstruktion och inte samma möjlighet till att rena och fördröja dagvatten. I en vegetationsyta nås vegetationen av vatten underifrån via det öppna förstärkningslagret och direkt från nederbörden. Dagvattnet leds alltså inte direkt in i vegetationsbädden utan leds ned i brunnar som är kopplade till konstruktionen via det öppna förstärkningslagret. Det som skiljer vegetationsyta från regnbädd är även att de inte är skålformade så de samlar inte dagvatten. Se figur 4.6.1 för konstruktion.

Högre krav

Lägre krav

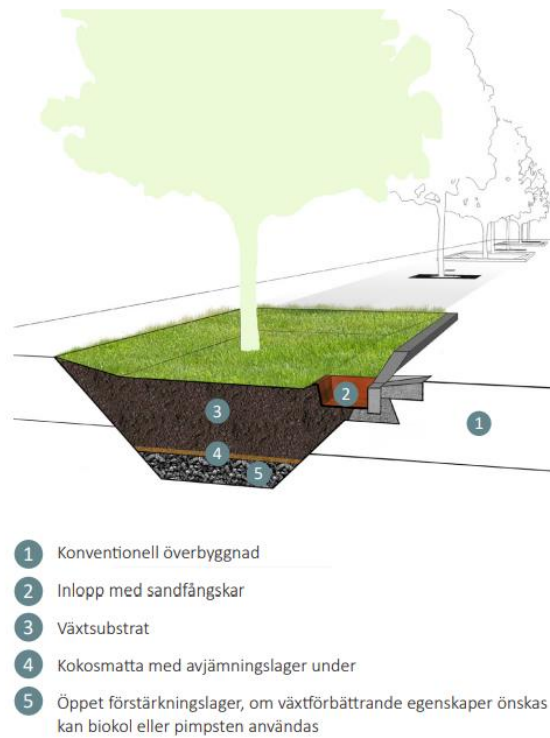


Figur 4.6.1. Illustrering av en vegetationsyta och konstruktion, en med högre krav och en med lägre krav. Illustration: Martin Vysoký, Mia Border, Martin Brattström, Ida Linnersten, Adam Linde och Susanne Sixtensson, Barbora Lišková. Edge (2019)

4.7 Svackdike

Svackdike påminner om en regnbädd i sin utformning och uppbyggnad. Skillnaden mellan systemen är hur dagvattnet töms. I ett svackdike är målet att samla ihop och avleda dagvatten på markytan till en brunn. I en regnbädd sker tömningen av dagvatten genom växtsubstratet ner till det öppna förstärkningslagret. Ett svackdike syftar till att avleda större flöden på markytan och därför bör man vid konstruktionen fokusera på erosionsskydd. Klippa gräsytor eller ängar är fördelaktigt framför busk- och perennplanteringar för att minska risken för erosionsskador. I övrigt har svackdike samma rekommendationer som regnbädd för konstruktion (Edge, 2019). Se figur 4.7.1 för konstruktion.

Svackdike påminner om EPAs (2021) beskrivning av en *bioswale*. Tanken och funktionen med en "swale" är att den är skålformad så att vattnet kan samlas och avledas. *Bioswales* beskrivs av EPA (2021) som paraboliska eller trapetsformade fördjupningar som använder bioretentionsjord och vegetation för att främja infiltration, vattenretention, sedimentering och avlägsnande av föroreningar. *Bioswales* placeras vanligen på vägrätter eller parkeringsplatser och tar hand om ytvatten från angränsande ogenomsläppliga ytor. Vägrätter är idealiska för *bioswales*, särskilt på breda vägar eller vägrätter som har långa, oavbrutna marksträckor. Eftersom de är enkla att implementera med relativt låga kostnader att bygga, är de tillämpliga för både ombyggnader och nya bostads- och kommersiella utvecklingar (EPA, 2021).



Figur 4.7.1. Illustrering av svackdike och dess konstruktion. Illustration: Martin Vysoký, Mia Border, Martin Brattström, Ida Linnersten, Adam Linde och Susanne Sixtensson, Barbora Lišková. Edge (2019)

4.8 Sammanfattning av systemen

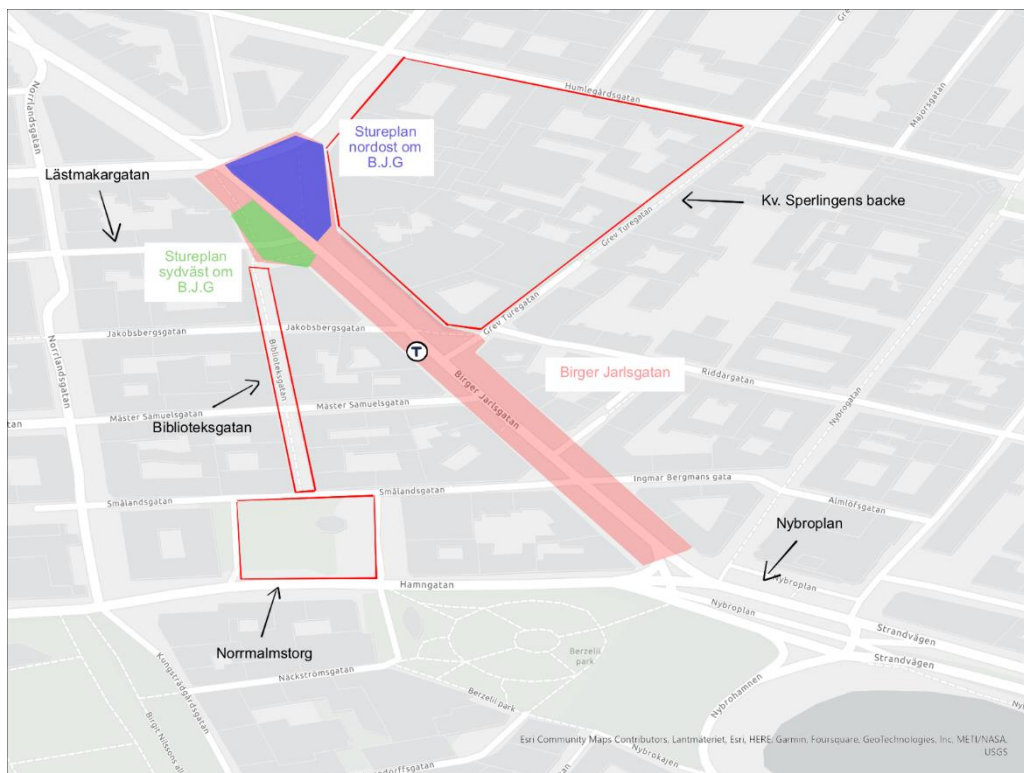
De olika BGG-system som beskrivits fyller olika funktioner och har olika krav. Vissa system kräver större utrymme, andra mindre, vissa är dyra, vissa är billiga och så vidare. Alla dessa egenskaper är väsentliga för huruvida det går att installera BGG-system på Birger Jarlsgatan. BGG-systemens egenskaper har sammanfattats i tabell 4.8.1 för att lättare kunna jämföra BGG-systemen med studieområdet.

Tabell 4.8.1. Sammanfattning av BGG-systemen baserat på vad de har för fördelar, vilket typ av plats de passar till, vilken design de brukar ha samt vilka utmaningar som finns med systemen.

SYSTEM	Fördelar	Passar bäst till	Design	Utmaningar
Hårdgjord yta	-Hög bärighet -Billig konstruktion -Välkänd metod	-Vägar, parker, trottoarer, torg -Både urbana och rurala områden	- Förstärkningslager med överbyggnad -Klarar hög lutning	-Skapar vattenbildningar -Ökar risken för översvämningar
Dränerande hårdgjord yta	-Relativt hög bärighet -Hög infiltrering -Minskar vattenbildning -Yteffektivt	-Urbana miljöer -Parkerings, trottoarer, vägar med låg trafik, cykelstråk	-Öppet förstärkningslager -Dränerande beläggning, t ex marksten -Max 5 % lutning	-Känslig för sediment -Svårigheter i kallt klimat -Konflikt med infrastruktur under mark
Träd i hårdgjord yta	-Yteffektivt -Hög infiltrering -Många klimatreglerande effekter	-Urbana miljöer -Trottoarer, bufferzoner, parkeringar	-Står i täckta växtbäddar -Kan sammanlänkas till ett större öppet förstärkningslager -Max 5 % lutning	-Kan sedimenteras -Kan skymma sikt, skyltar, trafiklysen
Regnbädd	-God förmåga att infiltrera, fördröja och rena dagvatten -Estetiskt tilltalande -Biologisk mångfald	-Urbana miljöer -Bufferzoner, trottoarer, korsningar, parkeringar	-15-30 cm djup -Skålförmade -Vegetation som klarar vatten, salt och är stresståliga -Max 5 % lutning	-Känslig för sediment -Klarar inte trafik -Inte yteffektiv -Dyr och avancerad konstruktion
Vegetationsyta	-Billig och enkel konstruktion -Estetiskt tilltalande	-Trottoarer, bufferzoner -Där regnbäddar inte är ett alternativ	-Enklare design -Har inget inlopp utan bevattnas underifrån -Max 5 % lutning	-Minskar utrymme för gående -Blir mättade snabbt
Svackdike	-Kan avleda mycket vatten -Enkel konstruktion	-Parkerings, bufferzoner och trottoarer	-Vanligen täckta med gräs -Inlopp ovanför mark -Max 5 % lutning	-Kräver mer utrymme -Inte så hög infiltreringskapacitet

5 Studieområde

Studieområdet för fallstudien är södra delen av Birger Jarlsgatan, avgränsat mellan Kungsgatan i norr och Nybroplan i syd (se figur 5.0.1). Stureplan ingår i studieområdet och sträcker sig nordost och sydväst om Birger Jarlsgatan. Nybroplan ingår inte i studieområdet. Följande delar beskriver egenskaper om studieområdet som är relevanta för möjligheten och lämpligheten att installera BGG-system.



Figur 5.0.1. Studieområdets delar samt angränsande gator och områden som är relevanta för studien. B.J.G är förkortning för Birger Jarlsgatan.

5.1 Studieområdets delar

5.1.1 Stureplan nordost om Birger Jarlsgatan

Stureplan är en torgyta som sträcker sig på nordost och sydväst om Birger Jarlsgatan (se figur 5.0.1). Delen av Stureplan som ligger nordost om Birger Jarlsgatan är en lite större torgyta och ligger i korsningen Birger Jarlsgatan och Kungsgatan. Torget har mycket aktivitet med flera restauranger och uteserveringar samt utgör entré till Sturegallerian vilket är en populär galleria.

På torget finns byggnadsverket "Svampen" (se figur 5.1.1.), ursprungligen tänkt som regnskydd. Byggnadsverket är ritat av arkitekten Holger Blom och uppfördes 1937 men revs 1988 i samband med byggandet av gallerian. Svampen återuppfördes 1989 igen men i en annan utformning (Stockholm stad, 2015). På Stureplan finns även en gaslykta vid namn Carlssons lykta (se figur 5.1.2.) vilket är den sista fungerande Gaskandelabern i Stockholms stad och också en detalj som kännetecknar platsen.

Torget har en blandad beläggning med smågatsten lagda i linjer med rödfärgade plattor runt. En stor del av torget används också för parkering av cykel.



Figur 5.1.1. och 5.1.2. Första bilden är av Svampen och andra bilden Gaskandelabern Carlssons lykta som både är viktiga monument på Stureplan.

5.1.2 Stureplan sydväst om Birger Jarlsgatan

Stureplan sydväst om Birger Jarlsgatan är en mindre torgyta som förutom Birger Jarlsgatan angränsar till Biblioteksgatan och Lästmakargatan (se figur 5.0.1). Platsen präglas av mycket rörelse eftersom den utgör passage mellan den nordöstra delen av Stureplan och Biblioteksgatan vilket är ett populärt shoppingstråk. På torgytan finns en 212 cm hög skulptur av Jaume Plensas föreställande ett ansikte, åtta tätt stående träd samt några bänkar. Utöver detta är en del av torget körfält för Lästmakargatan vilket sammanlänkar Lästmakargatan med Birger Jarlsgatan. För att gränsa av körfältet finns några mindre pelare på varsin sida om fältet. Beläggningen på torget är gjord i smågatsten och rödfärgade markplattor. Se figur 5.1.3 och 5.1.4 för bilder av platsen.



Figur 5.1.3 och 5.1.4. Första bilden visar skulpturen av Jaume Plensas och andra bilden Lästmakargatans körfält på Stureplan sydväst om Birger Jarlsgatan.

5.1.3 Birger Jarlsgatan

Birger Jarlsgatan består av tre körfält; ett fält för bussar och två för personbilar, cykelstråk på båda sidor samt trottoarer på båda sidor. I mitten av körfältet finns en refug som skiljer de motgående körriktningarna åt. Birger Jarlsgatan är ca 30–35 meter bred (varierar i viss mån beroende på vart på sträckan man befinner sig). Trottoarens bredd varierar också men är på de bredaste delarna runt 7 (se figur 5.1.6) meter och de smalaste runt 3 meter. Längs trottoaren finns på många ställen planterade träd men förutom det är trottoaren ganska avskalad från innehåll. På några ställen finns uteserveringar och cykelställ. En del av Birger Jarlsgatans trottoarutrymme är idag avstängd för gående på grund av ombyggnation av kvarteret Sperlingens Backe. På denna sträcka finns även Östermalmstorgs tunnelbanenedgång (se figur 5.1.5).



Figur 5.1.5. och 5.1.6. Första bilden är av Östermalmstorgs tunnelbanenedgång och andra bilden en bredare trottoaryta på Birger Jarlsgatan.

5.2 Kommande planer

Det finns inga aktuella planer för Birger Jarlsgatan i dagsläget men det finns idéförslag. Trafikkontoret i Stockholm stad (2017b) gav ut en Trafik- och gatumiljöplan där olika idéförslag för områden i Stockholm City diskuteras och där finns Birger Jarlsgatan med. Förslaget är att ta bort busskörfältet och ersätta med sammanhängande cykelbanor. Träden, som enligt Stockholm stad (2017b), står för nära kantstenen idag och riskerar skador, ska enligt förslaget flyttas och få nya växtbäddar. Alléerna ska enligt idéförslaget kompletteras med nya träd där det är möjligt. Trädplanteringen på Stureplan sydväst om Birger Jarlsgatan skulle ersättas med högre uppstammade och friväxande träd.

Det finns några pågående projekt som angränsar till Birger Jarlsgatan. Ett av dem är ett planarbete för en del av kvarteret Sperlingens Backe (se figur 5.0.1). Planarbetet kommer inte innebära några större förändringar för Birger Jarlsgatan. Ena tunnelbaneuppgången (inte den som är sårbar för översvämningar) längst Birger Jarlsgatan kommer flyttas närmare Stureplan (Stockholm stad, Stadsbyggnadskontoret 2015) men det borde inte ge någon större förändring i användandet av gatan. Det framgår inte i plandokumentet av Sperlingens Backe hur utformningen av trottoarutrymmet kommer se ut. Därför är utseendet av gatan innan projektet började utgångspunkt i denna studie.

Ett annat pågående projekt är ett vid Nybroplan (se figur 5.0.1 för Nybroplans läge). Gatuprojektet syftar till att förbättra framkomligheten för cykel och gång vid Nybroplan (Trafikkontoret, 2021). Projektet ligger utanför studieområdets avgränsningsområde men projektet kan ge effekter för Birger Jarlsgatan, till exempel att de enligt förslaget skulle ta bort det ena körfältet vid Nybroplan för att prioritera gång och cykel. Borttagandet av körfältet vid Nybroplan skulle troligen öka trafikbelastningen på Birger Jarlsgatan då Birger Jarlsgatan hade blivit den alternativa körvägen.

5.3 Trafik

Birger Jarlsgatan används i stor utsträckning av bilister. Fordonstrafiksmätningar från 2016 visade att det vid Sturegallerians huvudentré förekom cirka 8 600 fordon en vardag där ungefär 14 procent var tung trafik. I samma punkt och i södergående riktning uppmättes cirka 5 500 fordon en vardag där ungefär 11 procent var tung trafik. Under maxtimmen innebar det cirka 900 fordon på en timme i norrgående riktning respektive 600 fordon på en timme i södergående riktning (Stockholm stad, Stadsbyggnadskontoret, 2017).

Under försommaren 2015 gjordes fotgängarmätningar i 11 av innerstadsnittets mätpunkter för cykel. På Birger Jarlsgatan mättes 4845 fotgängare under sex timmar. Även cykelmätningar gjordes vid samma tillfälle och 3868 cykelpassager registrerades (Stockholm stad, Trafikkontoret, 2016).

Kollektivtrafik på Birger Jarlsgatan är Stombuss 2 och buss 96 som går från stationen Stureplan. Stombuss 2 går igenom en stor del av Stockholm och har många avgångar. Två tunnelbaneentréer finns längs gatan, både tillhörande Östermalmstorg. De är placerade på båda sidor av gatan. Det är framför allt tunnelbanestationen på den sydvästra delen av Birger Jarlsgatan som är sårbar för översvämningar.

5.4 Markuppbyggnad

Vägar är vanligen byggda efter ungefär samma modeller. De består av ett slitlager, bundet bärlager, obundet bärlager, förstärkningslager och terrass (Trafikverket, 2011). Uppbyggnaden varierar beroende på vilken bärighet gatan har. Bärighetsklasser avgör vilka fordonsvikter som är tillåtna på vägen eller bron. Gator och vägar är kategoriserade efter fyra olika klasser (bärighetsklass 1–4) där olika maximala bruttovikter tillåts (Trafikverket, 2021). Det finns även en trafikklassificering för andra miljöer: G (Entrégång, uteplats, lekytor, innergård utan trafik), GC (Gång- och cykelväg, enstaka lätta fordon, garageinfart) och 0 (Lågtrafikerade ytor, som gång och cykelvägar eller parkeringsplatser. Ytorna kan även bära trafik från lättare varutransporter samt enstaka tunga fordon) (Svensk Markbetong, 2019).

Ju högre bärighet man vill uppnå desto djupare behöver överbyggnaden vara. Birger Jarlsgatan har en bärighet på klass 2 (Trafikverket, 2021) vilket innebär en uppbyggnad på minst 500 mm (Trafikverket, 2011). Längs trottoarer behöver uppbyggnaden inte vara lika djup, där räcker det med en uppbyggnad på ca 250 mm (ibid).

Ibland krävs andra byggnadstekniska lösningar vid markuppbyggnad. Exempelvis platser byggda ovanpå garage eller tunnelbana. I dessa fall behöver bjälklag finnas med i uppbyggnaden. Bjälklag används för att stärka grunden för att kunna bygga både under och över marken. Detta är fallet på de delar av Birger Jarlsgatan som är byggda ovanpå Östermalmstorg tunnelbana. De är förstärkta med bjälklag (Stockholms stad, 2020).

5.5 Ledningsnät och ledningar

Annan markbunden infrastruktur är ledningsnät. Birger Jarlsgatan har enligt Stockholm vatten och avfall (2019) ett kombinerat ledningsnät. Kombinerade ledningsnät leder spillvatten och dagvatten i samma ledningar medan duplicerade ledningsnät leder spillvatten och dagvatten i separerade ledningar. När ledningsnätet är kombinerat blir konsekvenserna av en översvämning värre eftersom översvämningen då både består av dagvatten och spillvatten.

Det finns även ledningar i marken som förser samhället med värme, vatten, el och kommunikation. Exakt hur och vart dess ledningarna går finns inte publicerat offentligt men den tätbebyggda miljön talar för att det kan finnas fler ledningar i marken än vad det gör i mindre urbana miljöer.

5.6 Markbeläggning

Beläggningen på Birger Jarlsgatan varierar. På Birger Jarlsgatans körfält är beläggningen i traditionell asfalt. På trottoarerna längs Birger Jarlsgatan är beläggningen i markplattor, troligen i betong, vilket är en vanlig beläggning för trottoarer. Torgen är gjorda i en röd beläggning med linjer i smågatsten.

5.7 Lutning

Lutningen på studieområdet trottoarer varierar mellan 2 och 3 procent. Inget av de testade platserna visade mindre än 2 procents lutning eller mer än 3 procents lutning.

5.8 Vegetation

Längs studieområdet finns det omkring 30 lindar. Enligt Stockholm stad (2023) har träden inte fått några nya växtbäddar på länge. Några av lindarna står i växtbäddar med galler ovanpå medan andra i stort sett är asfalterade hela vägen in till stammen. Högre upp på Birger Jarlsgatan utanför studieområdet har de befintliga träden fått nya växtbäddar (Stockholm stad, 2017b). Utöver alléträden finns ingen annan vegetation på studieområdet. Figurerna 5.8.1., 5.8.2., och 5.8.3 visar exempel på träden.



Figur 5.8.1., 5.8.2., och 5.8.3. Träd på Birger Jarlsgatan med olika typer av beläggning.

5.9 Hydrologiska förhållanden

Studieområdet ligger lågt inom ett stort avrinningsområde vilket betyder att en stor mängd ytvatten kommer nå gatan vilket är en av anledningarna till att området är sårbart för översvämningar. Figur 5.9.1 visar avrinningsområdet för slutet av Birger Jarlsgatan och strax nedanför Berzelii park. Avrinningsområdet har en area på 9,08 km².



Figur 5.9.1. Avrinningsområde för Birger Jarlsgratan och Berzelii park.

5.10 Sediment

Sediment kommer vanligen från skog eller landskap med mycket löv, lera eller jord, kontaminerade områden, som läckande bensinmackar, återvinningscentraler eller lastkajer eller konstruktionsplatser (EPA, 2021; CWP, 1997).

Inom avrinningsområdet finns det inte mycket skog eller landskap med löv eftersom hela avrinningsområdet är en del av en urban miljö. Det finns troligen inga kontaminerade områden. Bensinmackar finns men de borde inte läcka bensin. Ingen större återvinningscentral eller lastkajer finns. Det finns konstruktionsplatser inom avrinningsområdet. Till exempel det arbete som pågår på Birger Jarlsgratan. Dessa skulle kunna bidra till sedimentering.

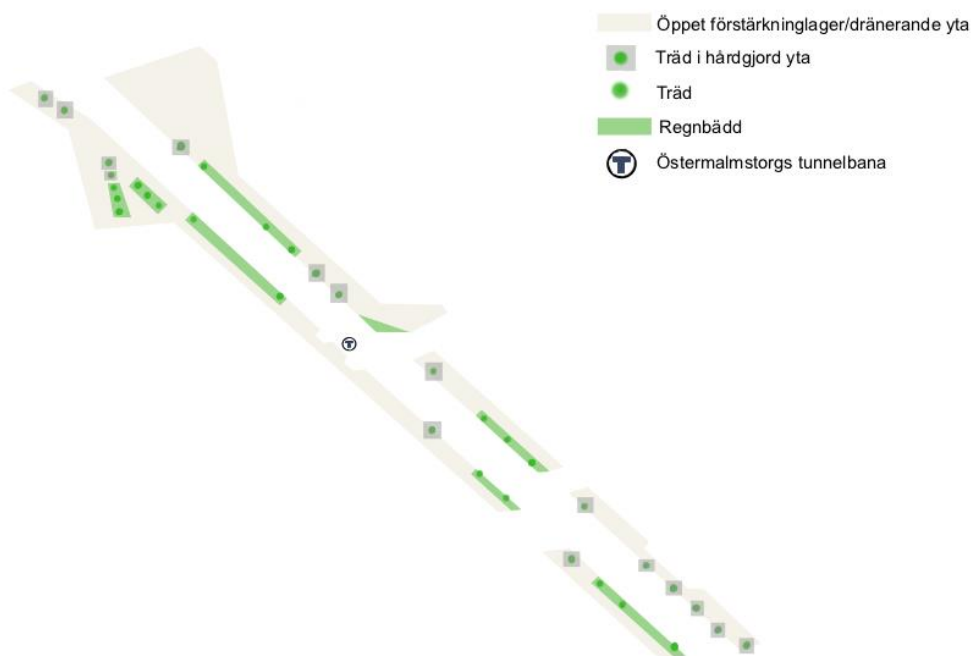
6 Resultat

I detta kapitel ges ett förslag på hur BGG-system hade kunnat placeras på Birger Jarlsgatan för att minska områdets sårbarhet för översvämningar. Förslaget är framtaget genom en sammanvägd analys av de kriterier BGG-system har tillsammans med studieområdets förutsättningar och funktion. Förslaget presenterat är inte det enda alternativet till hur man hade kunnat förbättra dagvattenhanteringen på området. Detta är endast ett förslag och en av flera möjliga lösningar.

6.1 BGG-system på Birger Jarlsgatan

Figur 6.1.1 visar förslaget på hur BGG-system skulle kunna förbättra Birger Jarlsgatans förmåga att fördröja dagvatten. Illustrationen föreställer studieområdet med olika BGG-system utplacerade. Enligt förslaget skulle flera olika BGG-lösningar placeras på studieområdet. Systemen är placerade efter studieområdets olika behov. Alla system skulle vara byggda på ett öppet förstärkningslager vilket binder dem till ett kombinerat system. Birger Jarlsgatans körfält skulle däremot i detta förslag inte vara byggt på ett öppet förstärkningslager samt inte ha några BGG-system.

I nästkommande del beskrivs möjligheten att installera BGG-system på studieområdet. Eftersom det är framför allt det öppna förstärkningslagret som avgör detta handlar delen om det. Nästkommande del beskriver vilka typer av BGG-system som skulle placeras ovanpå det öppna förstärkningslagret och varför dessa har valts. I slutet av kapitlet finns illustrationer av hur de olika BGG-lösningarna skulle kunna se ut på studieområdet.



Figur 6.1.1. Skiss över förslaget med BGG-system på studieområdet.

6.1.1 Öppet förstärkningslager

Det öppna förstärkningslagret med BGG-system är i förslaget installerat på hela studieområdets trottoar- och torgyta. Inget öppet förstärkningslager eller BGG-system har placerats på körfältet. Det finns flera skäl till detta.

En anledning är att det finns oklarheter i vilken bärighet ett öppet förstärkningslager har. Studierna om studieområdet visade att Birger Jarlsgatan idag har mycket trafik och att trafiken potentiellt kommer öka ytterligare ifall planerade planförslag går igenom. EPA (2021) menar att dränerande beläggningar med ett öppet förstärkningslager har lägre bärighet än andra konventionella metoder och att man därför ska vara försiktig med att använda det på högt trafikerade vägar. Edge (2019) och Svensk Markbetong (2019) menar däremot att ett öppet förstärkningslager med dränerande beläggning kan ha en bärighet upp till klass 2 vilket är den trafikklass Birger Jarlsgatan är byggd för idag.

För att uppnå en högre bärighet behöver det öppna förstärkningslagret vara djupare än en konventionell uppbyggnad vilket är det andra skälet till att Birger Jarlsgatans körfält inte har inkluderats i analysen. Eftersom studieområdet är byggt ovanpå Östermalmstorgs tunnelbanestation med ett bjälklagslager emellan tunnelbana och mark finns det osäkerheter i möjligheten att gräva så djupt i gatan som ett öppet förstärkningslager med hög bärighet kräver. Att placera BGG-lösningar ovanpå byggnadstekniska lösningar som bjälklag försvårar möjligheten att installera BGG-system (Edge, 2019). Utöver detta bidrar även biltrafiken till sedimentering av den dränerande beläggningen. Med den mängd trafik som finns på gatan idag är det troligt att beläggningen hade sedimenterats snabbt och förlorat sin dränerande effekt.

För att inte överestimera områdets möjlighet till att fördröja dagvatten har därför inget öppet förstärkningslager räknats in för Birger Jarlsgatans körfält. Körfältets hårdgjorda yta kan däremot avleda dagvatten på ytan och föra det till ett annat BGG-system eller till en dagvattenbrunn och på så sätt integreras med BGG-systemen.

Hela trottoar- och torgytorna skulle däremot bestå av BGG-system. Detta eftersom ett öppet förstärkningslager bör täcka en så stor och sammanhängande yta som möjligt för att uppnå bästa fördröjningseffekt (Edge, 2019). Precis som på Birger Jarlsgatans körfält finns det osäkerheter kring hur djupt det går att gräva i trottoaren och torgen. Även under trottoaren finns tunnelbanestationen vilket kan försvåra möjligheten att placera BGG-system. Det finns däremot inte samma krav på bärighet vid trottoarerna vilket betyder att det öppna förstärkningslagret inte behöver vara lika djupt. Risken för sedimentering är även lägre på trottoar- och torgytorna eftersom de saknar biltrafik. Ett annat skäl som talar för möjligheten att placera BGG-system på studieområdet är att det redan finns träd på platsen idag. Hur djup växtbädd de har är oklart men det indikerar att det går att installera system i marken.

Ledningar i marken skulle kunna försvåra möjligheten att placera BGG-system på studieområdet. Information om ledningar på studieområdet finns inte publicerat offentligt men generellt sett är det inga problem att bygga ett öppet förstärkningslager där det finns ledningar (Edge, 2019). Ledningarna kan gå genom det öppna förstärkningslagret. Ledningsnätet är inte heller något som orsakar problem i installandet av BGG-system. Studieområdet har ett kombinerat ledningsnät vilket betyder att dag- och spillvatten leds bort i samma ledningar. Den enda skillnaden med ett kombinerat ledningsnät i jämförelse med ett duplicerat är att BGG-systemen konstrueras så att spillvatten inte kan ta sig in bakvägen in i det öppna förstärkningslagret, genom till exempel en bakventil (ibid). Att studieområdet har ett kombinerat ledningsnät ger även större skäl till förbättrade dagvattenlösningar eftersom en översvämning hade inneburit att både dag- och spillvatten kommer upp till markytan.

Sammanfattningsvis borde det finnas goda möjligheter till att placera ett öppet förstärkningslager på Birger Jarlsgatan.

6.1.2 BGG-system

Ovanpå det öppna förstärkningslagret kan olika BGG-lösningar placeras. Avvägningen mellan vilka system som bör installeras och var de ska installeras har gjorts genom att analysera vilka delar av studieområdet som är extra viktiga ur ett översvämningsperspektiv i kombination med vilka sociala funktioner som är viktiga för området.

Det är framför allt två platser på studieområdet som är viktig för att minska områdets sårbarhet för översvämnningar. Det är utrymmet mellan Stureplan och Östermalmstorgs tunnelbanenedgång, och Stureplan sydväst om Biblioteksgatan. Området mellan Stureplan och tunnelbanan är viktig eftersom dagvattenhanteringen vid denna plats är avgörande för hur mycket dagvatten som skulle ta sig ned i tunnelbanan vid ett skyfall. Därför bör det här placeras BGG-system med hög fördröjningsförmåga som stoppar vattnet. Stureplan sydväst om Birger Jarlsgatan är en viktig plats eftersom denna del av studieområdet kan stoppa mycket av dagvattnet som skulle nå Biblioteksgatan och Norrmalmstorg, vilket är två platser som är mycket sårbara för översvämnningar. Förbättras dagvattenhanteringen på dessa platser minskas översvämningsrisken på Biblioteksgatan och vid tunnelbanan.

Det BGG-system som har bäst förmåga att fördröja dagvatten är regnbäddar. Regnbäddar kan fördröja dagvatten både genom det öppna förstärkningslagret och genom sin skålförmade design. Skulle svackdiken användas hade de endast avlett dagvattnet i stället för att fördröja och stoppa det från att orsaka översvämnningar. Vegetationsytor har inte samma möjlighet att fördröja dagvatten eftersom de inte har något inlopp av dagvatten ovanför mark. Därför bör regnbäddar placeras vid dessa punkter där behovet av fördröjning av dagvatten är störst.

Vid tunnelbanenedgången på Birger Jarlsgatan skulle regnbäddarna vara placerade mellan gatan och trottoaren och ersätta parkeringsplatserna som finns där idag. På Stureplan sydväst om Birger Jarlsgatan skulle två regnbäddar placerats på torget och täcka en stor del av torgytan. Figur 6.1.2 och 6.1.3 illustrerar förslagen och hur dessa miljöer skulle kunna se ut med regnbäddar. De delar av trottoaren och torgytan som inte är regnbädd skulle vara gjord i dränerande yta. Regnbäddarna och de dränerande ytorna är sammankopplade genom sitt öppna förstärkningslager.

Området mellan Östermalmstorg tunnelbana och Nybroplan (södra delen av studieområdet) har inte samma akuta behov av dagvattenfördröjning eftersom dessa platser ligger nedströms tunnelbanan och förbi vattnets ingång till Biblioteksgatan. På denna del av studieområdet har därför mer av de funktioner som finns på platsen idag besparats, till exempel parkeringsutrymmen och trottoarutrymme. Även fast det inte finns samma akuta behov av att få bort dagvatten skulle ett 100-årsregn orsaka översvämnningar på platsen vilket inte är önskvärt. På de platser där trottoaren är bredast har därför regnbäddar placerats för att fördröja dagvatten och minska översvämnningar. Alla resterande trottoarytor som inte är regnbädd skulle vara gjorda i dränerande beläggningar. Se figur 6.1.4 för illustration. Dessa ytor är platser på studieområdet där andra BGG-system inte lämpar sig, till exempel där trottoaren är smal och det är ont om utrymme, korsningar till andra gator (de som är genomgående gångbanor) och övergångsställen, samt platser där andra funktioner bevarats, till exempel parkeringsutrymmen.

Det finns idag många träd på studieområdet. Flera av dessa skulle med förslaget få nya växtbäddar genom regnbäddar. På vissa platser lämpar sig däremot inte dessa konstruktioner som tidigare nämnt. Exempelvis där trottoaren är smal eller där man vill spara cykelparkeringar eller bilparkeringar. Som lösning kan träden stå i växtbäddar med markgaller ovanpå (*Träd i hårdgjord yta*). På så sätt besparas utrymme för cyklister, fotgängare och cykelparkeringar samtidigt som träden bidrar till fördröjning av dagvatten. Exempel på platser där träd skulle stå i hårdgjord yta är längst söderut på östra sidan av Birger Jarlsgatan där trottoaren är smal och lite utrymme finns, högst norrut på västra sidan av Birger Jarlsgatan där trottoaren också är smal, i mitten av studieområdet där det finns behov av cykel- och bilparkering samt vid busstationen som är placerad i mitten av studieområdet på östra sidan där det behövs utrymme för att gå på och av bussen. Figur 6.1.5 visar ett exempel på träd i hårdgjord yta där plats för cykelparkering har besparats.

Stureplan nordost om Birger Jarlsgatan hade också kunnat stoppa mycket av dagvattnet som flödar mot Biblioteksgatan och tunnelbanan men platsen har en viktig social funktion. Torget är både en plats där människor uppehåller sig och passerar. Det vore därför inte bra för områdets funktion att ta upp mycket av torgutrymmet för BGG-system som regnbäddar. Denna del av Stureplan har även två unika byggnadsverk vilka hade varit svåra att bevara med vissa typer av BGG-system. I stället för BGG-system som regnbäddar kan en vidsträckt dränerande beläggning användas. Dränerande beläggningar har inte samma fördröjningsförmåga som regnbäddar men med dränerande ytor skulle Stureplan kunna behålla sin funktion som mötesplats samt sitt kulturella värde.



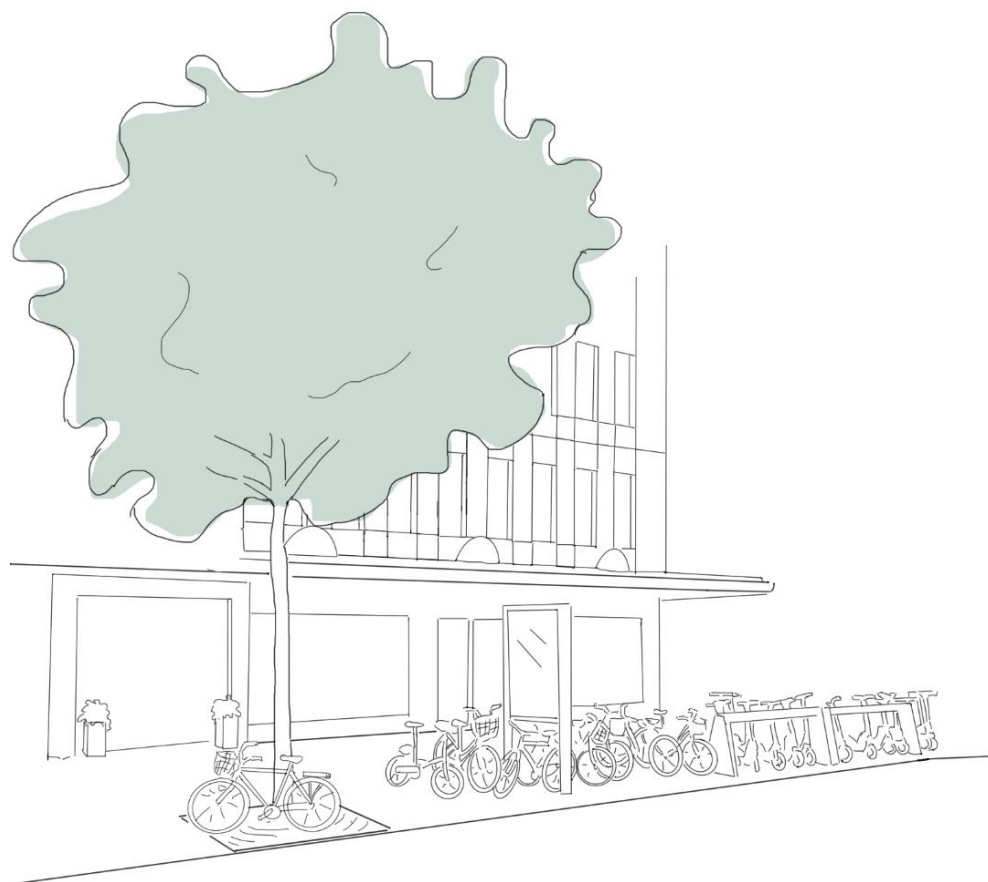
Figur 6.1.2. Illustrering av en regnbädd uppströms Östermalmstorg tunnelbanenedgång. Regnbädden skulle tillsammans med dränerande ytor stoppa flödet av dagvatten på gatan och minska risken för att vattnet översvämmar tunnelbanan.



Figur 6.1.3. Illustrering av regnbäddar vid Stureplan sydväst om Birger Jarlsgatan. Regnbäddarna är placerade på Stureplan för att stoppa dagvatten från Birger Jarlsgatan (vänster om regnbäddarna på bilden) att nå Biblioteksgatan som syns till höger på bilden. De hårdgjorda ytorna är i dränerande beläggning för att ytterligare minska mängden dagvatten på ytan.



Figur 6.1.4. Illustrering av Birger Jarlsgatan med regnbäddar. Övrig markbeläggning är dränerande.



Figur 6.1.5. Illustrering av träd i hårdgjord yta som ger utrymme för cykelparkering. Det finns många som parkeringar sina cyklar på studieområdet idag och då passar träd i hårdgjord yta eftersom de sparar utrymme för parkering samtidigt som de fördröjer dagvatten. Övrig markbeläggning är dränerande.

6.2 Skillnad i ytavrinning

Idag står ledningsnätet för nästan all bortledning av dagvatten på studieområdet. Stockholms ledningsnät och grönytor har tillsammans en genomsnittlig kapacitet att hantera ett 10-årsregn vilket är 21 mm/30 min (Stockholm stad, 2018a; MSB, 2017). Vid ett 10-årsregn avleds cirka 90 procent av ytvattnet bort i ledningsnätet och resterande tas hand om på annat sätt, till exempel genom grönytor (MSB, 2017). Med klimatförändringar beräknas regnintensiteten öka och 100-årsregn, vilket statistiskt sett idag förekommer vart hundra år, kommer ske oftare. Ett 100-års regn innebär en regnmängd på 44 mm/30 min och det är i genomsnitt 40 procent som avleds genom ledningsnätet och 60 procent på annat sätt eller inte alls.

Eftersom studieområdet är i en urban miljö finns det inte många andra sätt än via ledningsnätet dagvattnet kan ledas bort på. Under ett 100-årsregn kommer det alltså vara drygt 26 mm regn på en halvtimme som samlas på hårdgjorda ytor. 26 mm är inte mycket i sig men en plats från Birger Jarlsgatan som ligger lågt i ett avrinningsområde kommer samla ihop regn från hela avrinningsområdet vilket innebär att det blir 26 mm regn multiplicerat med avrinningsområdets yta. Slutet på Birger Jarlsgatan och Biblioteksgatan har en avrinningsyta på 9,08 km². Skulle det regna 44 mm på hela området och 60 procent rinner vidare på markytan skulle det på en halvtimme vara omkring 236 080 m³ dagvatten som nått de lägsta punkterna. En del av vattnet kommer infiltreras i de grönytor som finns i området men mycket kommer samlas på de hårdgjorda ytorna när ledningsnätet är mättat.

Med BGG-system skapas en extra volym för dagvattnet att fördröjas i vilket minskar mängden stillastående vatten ovanför mark. Fördröjningsvolymen i BGG-system sker framför allt genom det öppna förstärkningslagret men även till viss del i konstruktionerna (se figur 6.2.1). Storleken på fördröjningsvolymen beror på hur djupt och brett det öppna förstärkningslagret är. Syftet med BGG-system är att de på ett kontrollerat sätt leder dagvatten till det öppna förstärkningslagret där det kan magasineras och fördröjas för att sedan ledas bort via ledningsnätet. Denna process sparar tid och minskar belastningen på ledningsnätet.

Det öppna förstärkningslagrets fördröjningskapacitet beräknas genom att beräkna det öppna förstärkningslagrets volym multiplicerat med förstärkningslagrets porositet. Det öppna förstärkningslagret består av makadam vilket är ett krossat bergmaterial och förekommer i olika fraktionsspann, tex 2/4, 8/16, 16/32, 4/90, 22/90 och 32/90. Vanligt är att det öppna förstärkningslagret har en porositet på 30–40 procent.

Sträcker sig det öppna förstärkningslagret över hela studieområdets trottoar- och torgytor innebär det en area på ungefär 6000 m². Är det öppna förstärkningslagret 300 mm djupt blir volymen av det öppna förstärkningslagret 1800 m³. Fördröjningsvolymen blir då 720 m³ om man antar att porositeten är 40 procent.

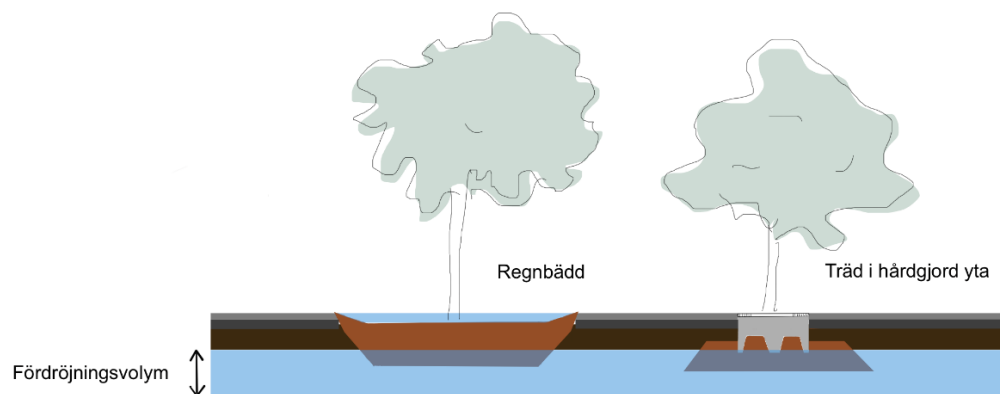
Ett 100-årsregn innebär en regnmängd på 44 mm på en halvtimme. Antar man att det regnar 44 mm på hela avrinningsområdet under en halvtimme och att 60 procent av detta inte leds bort av ledningsnätet betyder det att omkring 236 080 m³ vatten kommer nå studieområdet inom en halvtimme. Som skyfallsmodellen över Östermalm visade kommer dagvattnet stanna vid Biblioteksgatan, Norrmalmstorg och Berzelii park. Vattnet riskerar även att forsa ned i Östermalmstorgs tunnelbanestation eftersom Birger Jarlsgatan har ett högt flöde av dagvatten. Med BGG-system längs Birger Jarlsgatan skulle en fördröjningsvolym på 720 m³ kunna uppnås om det öppna förstärkningslagret är 300 mm djupt och täcker trottoar- och torgytorna. BGG-systemen skulle alltså inte kunna hantera hela avrinningsområdets nederbörds mängd under ett 100-årsregn men de skulle kunna minska storleken på översvämningen. För att hantera hela

avrinningsområdets nederbördsvolym under ett 100-årsregn skulle ungefär en femtedel av avrinningsområdets yta behöva bestå av ett öppet förstärkningslager på 300 mm med BGG-system ovanpå. Detta eftersom mängden regn som inte avleds på ytan genom ledningsnätet ($26 \text{ mm} * 6000 \text{ m}^2 = 156 \text{ m}^3$) är ungefär en femtedel av den totala fördröjningsvolymen (720 m^3) för studieområdet.

Utöver fördröjningsvolymen i det öppna förstärkningslagret har regnbäddar en fördröjning ovanpå konstruktionen vilket ytterligare ökar fördröjningen av dagvatten. Denna skulle utöka fördröjningsvolymen med några kubikmeter så det ger ingen större påverkan vid ett 100-årsregn.

Viktigt för analysen av fördröjningsvolym är också BGG-systems konduktivitet. Konduktivitet är relevant eftersom det avgör hur snabbt det öppna förstärkningslagret fylls med vatten. Är konduktiviteten låg är det inte säkert att hela fördröjningsvolymen i systemen hinner fyllas innan allt dagvattnet runnit förbi. Även fast fördröjningsvolymen inte kommer kunna hantera ett 100-årsregn är det relevant att undersöka hur snabbt ett öppet förstärkningslager på 300 mm kommer fyllas med vatten.

Konduktiviteten i BGG-system är generellt hög för att kunna infiltrera dagvatten snabbt. Konduktiviteten i ett öppet förstärkningslager är $1,0 * 10^{-3} \text{ m/s}$, det vill säga 1 mm per sekund (Svensk Markbetong, 2019). Har det öppna förstärkningslagret ett djup på 300 mm och en konduktivitet på $1,0 * 10^{-3} \text{ m/s}$ kommer det öppna förstärkningslagrets fyllas på 300 sekunder ($0,3/10^{-3} = 300$). Hela fördröjningsvolymen kommer alltså kunna utnyttjas under ett 100-årsregn som pågår i 30 minuter.



Figur 6.2.1. Illustrering över dagvattenfördröjning med BGG-system. Dagvattnet fördröjs framför allt genom det öppna förstärkningslagret men dagvatten kan också fördröjas i regnbäddar.

7 Diskussion

Resultatet visar att en kombination av gröna, blå och grå system fysiskt sett går att placera på studieområdet med undantag för körfältet. BGG-systemen hade minskat Östermalmsområdets sårbarhet för översvämningar men inte kunnat hantera allt dagvatten från ett 100-årsregn. För att hantera ett 100-årsregn hade ungefär en femtedel av avrinningsområdets yta behövt bestå av ett öppet förstärkningslager med en överbyggnad i hög konduktivitet.

Anledningen till att studieområdet inte hade kunnat hantera ett 100-årsregn är att studieområdet med BGG-system är för litet i förhållande till avrinningsområdet. Andra studier visar att BGG-system är en effektiv metod för att hantera översvämningar just i stadsmiljöer (Kapetas & Fenner, 2020; Kozak, 2020) men då har ett större studieområde undersökts i förhållande till avrinningsområdet. Annan forskning pekar på svårigheterna med att placera BGG-system lågt i stora avrinningsområden (EPA, 2021) vilket var fallet i denna studie. Detta är på vissa sätt en motsägelse med BGG-systemen eftersom syftet med systemen är att hantera stora mängder regn.

Resultatet i denna studie visar däremot att det går att fördröja en relativt stor mängd dagvatten samtidigt som andra funktioner i stadsmiljön bevaras. Resultatet stämmer överens med andra studier (Alves et. al., 2019; Alves et. al., 2020). BGG-systemens mångfunktionalitet och förmåga att inkludera sameffekter är det som gör att de passar bra i stadsmiljöer och anledningen till att de sannolikt är den bästa anpassningsstrategin för klimatförändringar (ibid).

I denna studie har fördröjning av dagvatten varit den styrande faktorn för förslaget utformning men med hänsyn till den etablerade stadsmiljön och dess funktion. Förslaget är bara ett förslag av flera möjliga. Att hitta lösningar för fördröjning av dagvatten är inte det i sig som är svårast, utan det svåra är att hitta metoder som fördröjer dagvatten utan att negativt påverka andra faktorer och funktioner i området. I denna studie har mycket av områdets nuvarande funktioner behållits, till exempel Stureplan som mötesplats, körfält i båda färdriktningar samt möjlighet att gå och cykla längs hela gatans sträcka, men att ändra i stadsrummet kommer alltid ge konsekvenser.

Under nästkommande del diskuteras resultatet för att ge en mer fördjupad bild av vad en implementering av BGG-system skulle innebära ur perspektiv utöver fördröjning av dagvatten. Skillnader som diskuteras är BGG-systemens påverkan på stadsrumsutrymmet, säkerhet, framkomlighet, underhåll, drift och kostnader. Detta för att ge en mer realistisk bild av BGG-systemens verkan i stadsmiljöer. Eftersom resultatet i denna studie visade att BGG-systemen inte skulle klara av att hantera ett 100-årsregn har även potentiella alternativa lösningar diskuteras. Vidare följs diskussionen upp av fallstudiens generaliserbarhet för andra platser samt en diskussion om studiens begränsningar.

7.1 Konsekvenser av BGG-system på Birger Jarlsgatan

7.1.1 Direkta effekter på stadsrummet

Att placera BGG-system på studieområdet hade ändrat utrymmet för andra funktioner. Med förslaget presenterat i denna studie är det framför allt utrymme från bilparkeringar, trottoar och torg som tas bort för att göra plats för BGG-systemen.

Med förslaget skulle två parkeringsutrymmen tas bort och göras om till regnbäddar. Parkeringsutrymmena ligger mellan Stureplan och Östermalmstorgs tunnelbana. Detta skulle resultera i färre parkeringsplatser på studieområdet vilket skulle innebära att det blir svårare för bilförare att hitta parkeringsplats.

Färre platser att parkera på kan, utöver att försvåra för bilister, medföra negativa konsekvenser för fordonsbaserad service och utryckningspersonal. Med färre platser att parkera kan leverantörer, taxiförare, färdtjänst, sophämtning, hantverkare och andra få svårare att göra sitt jobb. Färre parkeringsplatser kan även påverka utryckningspersonal negativt, inte genom att de får svårt att hitta parkeringsplats eftersom utryckningspersonal får stå överallt, men att de utan parkeringsplatser tvingas stå i gatan/på trottoaren vilket kan påverka framkomligheten för resterande biltrafik, cyklister eller fotgängare.

Att prioritera bort bilen för andra funktioner är däremot inget nytt fenomen inom stadsplaneringen. Biltrafiken har under många år nedprioriterats genom exempelvis färre bilparkeringar, men även genom att enkelriktade gator, ha bilfria zoner samt ha sommar- och vintergånggator. Grunden till dessa förändringar är att man vill öka gatans funktionalitet. I stället för att en gata endast används av bilister kan funktionaliteten av gatan ökas och inkludera fler funktioner som dagvattenhantering, gröna ytor, gång- och cykelbanor, uteserveringar och annat. I det Vinnova-finansierade projektet *Smarta gator* har flera experter från kommuner, myndigheter och konsultföretag inom mobilitet och bygg tagit fram en guide för hur utformningen av framtidens gator bör och behöver se ut för att främja social, ekologisk och ekonomisk hållbarhet. De pekar på att bilen behöver få mindre utrymme i stadsbilden för att ge plats för andra funktioner.

Med BGG-system på Birger Jarlsgatan skulle även utrymme från trottoarer och torg tas. Att ta utrymme från fotgängare och sociala mötesplatser är mindre positivt för stadsmiljön. Aktiviteter och rörelse är det som skapar stadsliv och en trevlig miljö. På trottoarytorna borde inte BGG-systemen orsaka särskilt stor skada eftersom de skulle placeras på trottoarytor som idag är breda. Det skulle fortfarande finnas plats på trottoaren att röra sig på. På vissa ställen används trottoarerna idag för cykelställ vilket de inte längre skulle kunna göra med BGG-systemen. Detta bör inte ge några problem för cyklister eftersom det finns många andra platser längs gatan att ställa sin cykel på, inte minst Stureplan där det fortfarande skulle finnas mycket plats för cykelparkering.

Detsamma gäller för Stureplan sydväst om Birger Jarlsgatan där det rörliga utrymmet skulle minskas med BGG-systemen. Detta kan minska torgets sociala funktion. Däremot sker främst den mesta aktiviteten på den andra delen av Stureplan. Stureplan sydväst om Birger Jarlsgatan är relativt outnyttjat idag. Torget används framför allt för passage vilket de fortfarande skulle kunna göra med BGG-systemen, dock med lite mindre utrymme. En negativ effekt BGG-systemen skulle ha på båda torgytorna är att torgens speciella rödfärgade beläggning skulle behöva bytas ut vilken kan ha en negativ effekt på områdets kulturella värde.

7.1.2 Säkerhet

När man planerar gator är det viktigt att tänka på gatans säkerhet och framkomlighet. BGG-systemen skulle öka säkerheten på Birger Jarlsgatan på flera sätt. Den mest uppenbara säkerhetsskillnaden är att risken för översvämningar minskar med BGG-system. Översvämningar utgör fara för bilister, fotgängare och cyklister eftersom vattnet blir ett hinder i trafiken. Översvämningarna kan även ta sig ned i tunnelbanan och

riskerar då livsfara vilket i dagens situation är en risk på Birger Jarlsgatan. Med BGG-system längs gatan minskas risken för översvämningar samt risken för en översvämmad tunnelbana.

En annan säkerhetsåtgärd BGG-systemen bidrar till är att de minskar risken för kollisionsolyckor. Regnbäddarna och träden som är placerade längs trottoarkanten skapar en bufferzon mellan gata och trottoar vilket minskar risken för kollisionsolyckor mellan bilister/cyklister och gående. Regnbäddarna och träden blir en naturlig avskiljare mellan trottoar och gata.

Ytterligare olycksrisk som minskas med BGG-system är de platser där asfalten börjat krackelera av alléträden. Detta är orsakat av att rötter inte har tillräckligt med rotvolym och vattentillförsel (Boodlal, 2003). Skadade trottoarer är en säkerhetsrisk då de gör att människor lättare ramlar, speciellt blinda eller gamla. De är även ett hinder för rullstolsburna och människor med barnvagn. Med BGG-systemen får träden en större rotvolym och bättre vattentillförsel vilket minskar risken för skadad beläggning och i sin tur fallolyckor.

Även normala regn kan påverka säkerheten på gator. På ytor som saknar infiltrering av vatten, som asfalt, sten eller betong, skapas lätt dagvattenbildningar (pölar) på grund av ojämnheter i marken. Dagvattenbildningar är till besvär på flera sätt; de är i vägen för gående, de blir hala om de fryser till is och de blir extra besvärliga för människor med funktionshinder. En blind person kommer till exempel inte kunna se dagvattenbildningarna eller isen, och en rullstolsburen person riskerar att tappa fästet om marken om det är is och bli smutsig och blöt om det är blött och lerigt. Studier visar att dränerande beläggningar med sin förmåga att snabbt filtrera ytvatten kan minska mängden vatten och is på markytan vilket gör beläggningen säkrare än till exempel vanlig asfalt (Marvin et al., 2020). Detta minskar risken för olyckor som orsakas av vatten eller is, till exempel att människor ramlar eller att bilar/cyklar hamnar i blixthalka och svarthalka.

7.1.3 Framkomlighet

Dränerande beläggningar ökar framkomligheten på gator, speciellt för personer med funktionsnedsättning. Eftersom trottoarer vanligen är gjorda i ogenomsläppliga beläggningar behöver de byggas med en viss lutning så att vattnet kan rinna av ytan. Trottoarer byggs vanligen med max 5 procent lutning nedåt och 2 procent åt sidan (Stockholm stad, 2016a). 5 och 2 procent lutning kan låta lite men påverkar den med barnvagn eller i rullstol mycket (Boodlal, 2003). Den som kör behöver ständigt arbeta mot gravitationen. Med dränerande beläggningar hade trottoarens lutning kunnat minskas eftersom dagvattnet kommer infiltrera i marken i stället för att ledas bort. Detta skulle göra gaturummen mer tillgängliga och inkluderande för alla stadens medborgare.

Det finns däremot vissa tillgänglighetsproblem med dränerande beläggningar. Dränerande beläggningar som är gjorda i plattor eller stenar med stora fogar gör att marken blir ojämn och svårare att ta sig fram på än exempelvis asfalt. Dränerande beläggningar är svårare att ta sig fram på för människor med funktionsnedsättningar, barnvagnar, käpp, vissa skor och så vidare. I beläggningens fogar kan hjulen eller käppen fastna om mellanrummen är stora. Underlaget kan också medföra en vibrerande eller skumpig rörelse för den rullstolsburne som kan vara obekvämt och göra ont (Boodlal, 2003). Gatstensbeläggningar kan även sjunka eller resa sig vilket skapar nivåskillnader i markunderlaget vilket ökar risken för fallolyckor, speciellt för de med syn- eller rörlighetshinder (ibid).

Studier menar däremot att det går att konstruera markstensbeläggningar som både har en hög infiltrationsförmåga och är tillgängliga (Sprouse, 2020). Markstensbeläggningar är vanligen konstruerade med relativt små fogar vilket gör att de inte blir ojämna i underlaget (ibid).

7.1.4 Drift och underhåll

Med BGG-system på Birger Jarlsgatan kommer underhåll och drift av gatan att ändras. Drift och underhåll av gator i Stockholm är barmarksrenhållning vilket innebär sopning, städning, tömning av skräpkorgar, ogräsbekämpning på hårdgjorda ytor, lövupptagning samt bevattning ingår och vinterväghållning vilket innebär snöplogning, sopsaltning, snöbortforsling, halkbekämpning och efterföljande sandupptagning (Stockholm stad, 2019).

Barmarksrenhållning

Med dränerande ytor kommer mängden ytvatten minska. Det som gör att beläggningen kan infiltrera vatten är att den är utformad i plattor med genomsläppliga fogar mellan. Med tiden blir däremot beläggningens infiltrationsförmåga sämre på grund av igensättning av smuts och partiklar från biltrafik och mänsklig verksamhet (Svensk Markbetong, 2019). Hur mycket fogarna sätts igen beror på lokala förhållanden som närhet till grönområden (organiskt material som frömjöl och lövresten), flygsand (idrottsplaner och liknande), vilken typ av halkbekämpningsmaterial som används, föroreningar från trafik och fordon, hur ofta drift- och underhållsåtgärder utförs (sopning, vakuumsugning), gatans dubbdäcksfrekvens och ytans användningsområde (Svensk markbetong, 2019).

Vakuumsopning och vakuumsugning är de vanligaste metoderna för att rena dränerande beläggning. Görs detta regelbundet minskas risken för att beläggning, bundet bärlager och det öppna förstärkningslagret sätts igen (Simpson, 2021). Vissa menar att vakuumsopning behöver göras årligen för att den dränerande beläggningen ska bibehålla sin effekt (EPA, 2021; Svensk Markbetong, 2019) medan andra menar att det räcker med vart tredje eller fjärde år (Toronto and Region Conservation, 2008). Det finns även åtgärder för att minska mängden sediment, som naturliga vindskydd eller fysiska hinder som förhöjda kantstöd (Svensk Markbetong, 2019).

Det är inte bara den dränerande beläggningen som sätts igen med tiden. Detsamma händer med jordarna i regnbäddar och träden. Jordens infiltrationsförmåga bör kontrolleras två gånger per år (New Jersey Department of Environmental Protection, 2003) och skakas om för att inte bli kompakt (EPA, 2021). Hur denna omskakning ska gå till är oklart.

Eftersom regnbäddar är vegeterade behövs även drift och underhåll av detta. Vegetationen behöver mest omvårdnad i början av installationen med mycket bevattning för att få den att växa men efter detta räcker det med underhåll någon gång per år, företrädesvis på våren (EPA, 2021). På lång sikt kan det även bli relevant att schakta eller byta ut jorden om den blivit mycket sedimenterad (Toronto and Region Conservation, 2008).

Vinterväghållning

I kalla klimat är vinterväghållning en del av drift och underhåll vilket innebär snöplogning, sopsaltning, snöbortforsling, halkbekämpning och efterföljande sandupptagning. Med BGG-system blir vinterväghållningen påverkad på flera sätt. En faktor som behöver tänkas på vid installation av den gröna infrastrukturen är att det behöver finnas utrymme för vinterväghållningen att ta sig fram (EPA, 2021). Står

konstruktionerna olägligt i gatan blir det svårare för vinterväghållningen att komma fram. På Birger Jarlsgatan skulle BGG-systemen vara placerade där träden är och följa gatan vilket inte borde innebära någon ökad svårighet för vinterväghållningen att ta sig fram.

Snöplogningen behöver även ske mer med försiktighet på dränerande ytor än gator med traditionell beläggning, exempelvis genom att sätta bladen på snöplogen högre upp eller genom att sätta rollar i botten av snöplogen. Detta minskar risken för slitage på kanterna av markstenen i den dränerande beläggningen (EPA, 2021). Ihopsamlad snö bör heller inte läggas på dränerande ytor eftersom det också ökar risken för igensättning av fogar och förstärkningslager (ibid).

En annan förändring i underhåll med BGG-system är att sandning som används som halkbekämpning inte kan användas i samma utsträckning. Sand sätter sig i BGG-systemens porer precis som annat sediment vilket minskar systemens infiltrationsförmåga (EPA, 2021). Används sandning som halkbekämpning kommer systemen behöva vakuumsugas oftare. Salt går däremot att använda (Svensk Markbetong, 2019). Däremot är behovet av att använda halkbekämpning mindre med dränerande beläggningar eftersom de har större frysmotstånd (Marvin et. al., 2020; Svensk Markbetong, 2019). Det kan alltså vara så att det inte behövs någon saltning och sandning av gatan alls.

7.1.5 Kostnader

Kostnader för BGG-system är generellt sett större ur ett kortsiktigt perspektiv än traditionell grå infrastruktur. De kostar mer att installera och är dyrare i drift. Kostnaden för dränerande ytor beror mycket på platsspecifika förhållanden och hur mycket fördröjning av dagvatten som behövs (USEPA, 1999). Dränerande beläggningar kostar mer att anlägga än traditionell asfalt och de kostar mer i drift eftersom de regelbundet behöver städas för att inte sättas igen (Svensk Markbetong, 2019). Däremot är lagningsprocessen för dränerande markstensbeläggning enklare och billigare än exempelvis traditionell asfalt. När traditionell asfalt får sprickor eller gropar behövs dyrare lagningsprocesser i jämförelse med dränerande markstensbeläggning där endast de trasiga plattorna behöver bytas ut (Toronto and Region Conservation Authority, 2008).

Kostnaderna för en regnbädd beror på olika faktorer som storlek, vilket typ av vegetation som ska användas och platsspecifika förhållanden (USEPA, 1999). Eftersom regnbäddar har en mer teknisk konstruktion än många andra system kostar de mer att installera.

En annan kostnad med BGG-system är ifall träd ska planteras (Edge, 2019). På Birger Jarlsgatan finns redan träd som kan byggas ihop med de nya BGG-systemen så där skulle kostnaderna inte bli höga. Regnbäddar och träd kostar också i underhåll och drift men inte lika mycket som dränerande ytor. Även detaljer som styrbrunn och kantstöd bör räknas in i beräkningen för vad BGG-system kostar (Edge, 2019) men detaljer som dessa har inte tagits med i denna studie.

Viktigt att tänka på med BGG-system är att de verkar proaktivt så de kostar att investera i men kommer minska samhällskostnaderna över tid, speciellt när direkta effekter och indirekta effekter efter räknas. Flera studier pekar på detta och menar att BGG-system faktiskt är ekonomiskt gynnsamma ur ett långsiktigt perspektiv (Ncube & Arthurs, 2021; Alves et. al. 2019). BGG-system minskar belastningen på ledningsnätet och därav även kostnader för ledningsnätet.

Att grå lösningar är billigare är endast sant om man kollar kortsiktigt och inte räknar in sameffekter. Med sameffekter inkluderade är BGG-system mer ekonomiskt lönsamma (Alves et. al., 2019). Problemet med BGG-system gällande kostnader är vem som ska stå för de initiala kostnaderna och driften. Möjligheten för BGG-system att leverera sina fördelar hänger på att systemen underhålls (Ncube & Arthurs, 2021).

7.2 Alternativa lösningar

Som tidigare nämnt är förslaget presenterat i denna studie bara ett av flera möjliga. Förslaget presenterat i denna studie är fokuserat på fördröjning av dagvatten samtidigt som områdets nuvarande funktion har försökt behållas. Ett alternativ för översvämningshantering är att inte fokusera på fördröjning, utan i stället på avledning av dagvatten. Ett alternativ skulle därför vara att försöka göra om Birger Jarlsgatan till en skyfallsled. Då hade andra BGG-system som svackdiken som syftar till att avleda dagvatten kunnat användas i stället för regnbäddar som syftar till fördröjning. Fördelarna med ett sådant alternativ är att inga regn blir för stora. Om gatan konstrueras så att den kan avleda mycket vatten så minskar översvämningens risk. Svårigheterna här är att hitta sätt att skydda Biblioteksgatan och tunnelbanan på. Det hade kanske kunnat gå att bygga någon form av vall eller hög trottoarkant som motverkar dagvattnet att rinna in på Biblioteksgatan. Tunnelbanan hade antagligen behövt flyttats till en mer skyddad plats. En annan svårighet är hur man får dagvattnet att ta sig från Birger Jarlsgatan till Nybroviken utan att orsaka översvämningar vid Nybroplan.

Ett annat alternativ är att inte anpassa sig till områdets nuvarande struktur och utformning som gjorts i denna studie. Eftersom Birger Jarlsgatan och områdena runt omkring är mycket sårbara för översvämningar hade ett alternativ varit att ändra utformningen på platsen helt för att göra området mer tåligt mot översvämningar. Exempelvis hade Birger Jarlsgatans körfält, som idag tar upp mycket yta, kunnat stängas av för att skapa mer utrymme för dagvattenhantering. Trafiken hade kunnat omdirigeras till gator som inte har samma sårbarhet för översvämningar. Området kring Birger Jarlsgatan hade då i stället kunnat bestå av stora regnbäddar och dränerande ytor utan någon biltrafik. Med detta alternativ hade dessutom mycket av områdets nuvarande funktion kunnat behållas, som shoppingstråk och kulturmiljö, det som inte hade bevarats är biltrafiken. Det är däremot inte säkert att det ökade utrymmet som uppkommer utan bilväg hade räckt för att hantera ett 100-årsregn.

7.3 Generaliserbarhet för andra stadsmiljöer

Denna studie har visat att det är möjligt att placera BGG-system på Birger Jarlsgatan och Stureplan och att det skulle minska områdets sårbarhet för översvämningar. Eftersom studien är en fallstudie går det inte att dra slutsatser om BGG-system kan minska sårbarheten för översvämningar i alla stadsmiljöer. Möjligheten att installera BGG-system beror på många platsspecifika faktorer, som markuppbyggnader, infrastruktur, klimat, trafikbelastning, platsens användningsområden, ledningsnätets kapacitet och topografi. Dessa förhållanden ser olika ut på olika platser. Resultaten från fallstudien belyser möjligheten att implementera dessa system. BGG-systemens effekt är också påverkat av många olika faktorer, till exempel storlek på avrinningsområde, mängden hårdgjorda ytor samt schaktmöjligheter. Dessa varierar också mycket beroende på plats. Det som talar för en generaliserbarhet är att många andra studier har testat BGG-system och fått positiva resultat.

7.4 Studiens begränsningar och osäkerheter

Den tydligaste metodologiska begränsningen med fallstudier är bristen i generaliserbarhet (Gummesson, 2011). Studiens resultat är ett exempel från ett fall och det går inte att säga att resultatet skulle vara samma på en annan plats. De egenskaper Birger Jarlsgatan har behöver inte vara representativa för andra miljöer.

Det finns vissa osäkerheter med studiens datainsamling. I flera fall har det varit svårt att hitta detaljerad information om studieområdet. Vid dessa tillfällen har tolkningar och antagningar fått göras vilket påverkar studiens validitet. Detta gäller exempelvis vid information om studieområdets markuppbyggnad och ledningar. Information om ledningar är sekretessbelagt och finns därför inte publicerat offentligt. Då har tidigare studier använts som källa och direkta slutsatser i ämnet har försökt att undvikas. Detsamma gäller tunnelbanans påverkan på resultatet.

Vissa delar av resultatet är präglade av subjektivitet. Att resultatet är präglat av subjektivitet behöver inte vara negativt och det kan i många fall vara svårt att inte ha ett resultat som i vissa meningar är subjektivt (Gummesson, 2011). Det påverkar däremot studiens reliabilitet. För att komma fram till ett alternativ till förbättrad dagvattenhantering för studieområdet behövde studieområdets behov och funktion värderas. Dessa värderingar är baserade på analyser av studieområdet men präglade av subjektiva bedömningar eftersom förslaget innebar prioriteringar.

Ytterligare en begränsning i studien är att analysen av dagvattenfördröjning. Analysen är en förenkling av verkligheten och saknar många faktorer som spelar roll i hur mycket dagvatten BGG-systemen kan fördröja, till exempel en mer detaljerad uppdelning av ytans hårdhet och vattnets hastighet. Vidare har inte systemens dagvattenutflöde inkluderats i analysen. Analysen är till för att ge kontext till BGG-systems förmåga att fördröja dagvatten men bör inte ses som en exakt avbildning av systemens fördröjningsförmåga.

8 Slutsats

Denna studie har visat på möjligheten att använda sig av BGG-system för att minska sårbarheten för översvämningar i stadsmiljöer. Resultaten från fallstudien belyser möjligheten att implementera dessa system i stadsmiljöer men med vissa oklarheter i områden där det finns speciella byggtekniska lösningar som bjälklag. Resultatet visar att BGG-system kan omhänderta en del av dagvattnet från ett 100-årsregn men långt ifrån allt. BGG-system är en bra metod för stadsplanering som vill bevara den urbana miljön men uppnå en förbättrad dagvattenhantering. Vill en högre säkerhet mot översvämningar uppnås behöver däremot antingen en större del av avrinningsområdets yta bestå av BGG-system eller alternativa lösningar användas.

Tack

Tack till min handledare Britta Sannel för vägledning och stöd. Din erfarenhet och konstruktiva feedback har hjälpt mig bygga och forma detta arbete. Jag vill även tacka Salim Belyazid som har varit min mentor under de här två åren. Din kunskap, vägledning och ständiga uppmuntran har spelat en viktig roll för både min personliga och akademiska utveckling. Tack för ditt hängivna mentorskap.

Referenser

- Alves, A., Gersonius, B., Kapelan, Z., Vojinovic, Z., & Sanchez, A. (2019). Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management. *Journal of Environmental Management*, 239, 244–254. <https://doi.org.ezp.sub.su.se/10.1016/j.jenvman.2019.03.036>
- Alves, A., Gersonius, B., Kapelan, Z., Vojinovic, Z., & Sanchez, A. (2019) Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management. *Journal of Environmental Management*, 239, 244–254. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00410-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00410-X).
- Bakhshipour, A. E., Dittmer, U., Haghighi, A., & Nowak, W. (2019) Hybrid green-blue-gray decentralized urban drainage systems design, a simulation-optimization framework. *Journal of Environmental Management*, 249. <https://doi.org.ezp.sub.su.se/10.1016/j.jenvman.2019.109364>
- Boodlal, L. (2003). *Accessible sidewalks and street crossings: an informational guide* (No. FHWA-SA-03-019). United States. Federal Highway Administration.
- Booth, D. B., & Leavitt, J. (1999). Field evaluation of permeable pavement systems for improved stormwater management. *Journal of the American Planning Association*, 65(3), 314–325.
- Boström, R.F. (2008) *Ladugårdslandet med Tyskbagarbergen blir ÖSTERMALM*
- Boverket (2010) *Klimatanpassning i planering och byggande - analys, åtgärder och exempel*
- Brattebo, B. O., & Booth, D. B. (2003). Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water research*, 37(18), 4369–4376.
- Centre for Watershed Protection (CWP) (1997). *Stormwater Practices for Cold Climates*.
- Davis, A.P., Hunt, W.F., Traver, R.G., Clar, M., (2009) Bioretention technology: overview of current practice and future needs. *Journal of Environmental Engineering*. 135 (3), 109–117. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2009\)135:3\(109\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:3(109)).
- Ding, B. et al. (2019) Bioretention cells under cold climate conditions: Effects of freezing and thawing on water infiltration, soil structure, and nutrient removal. *Science of The Total Environment*, 649, 749–759. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.366>.
- Edge (2019) *Levande stadsrum – en handbok i Blågröngrå system*.
- Groat, L. N., & Wang, D. (2013). *Architectural research methods*. John Wiley & Sons.
- Gummesson, Evert (2004). Fallstudiebaserad forskning. I Gustavsson, Bengt (red.). *Kunskapande metoder inom samhällsvetenskapen*. 3., [rev.] uppl. Lund:
- Hashim, T.M. et al. (2022) An experimental comparison between different types of surface patterns of permeable interlocking concrete pavement for roadway subsurface drainage. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01227. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01227>
- Hunt, W.F., Jarrett, A.R., Smith, J.T., Sharkey, L.J., (2006) Evaluating bioretention hydrology and nutrient removal at three field sites in North Carolina. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 132(6):600–608. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2006)132:6(600)
- IPCC (2022) Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi, 10, 9781009157926.

Jarden, K.M., Jefferson, A.J., Grieser, J.M. (2016) Assessing the effects of catchment-scale urban green infrastructure retrofits on hydrograph characteristics. *Hydrological Processes*, 30(10), 1536–1550. <https://doi.org/10.1002/hyp.10736>.

Kapetas, L., & Fenner, R. (2020). Integrating blue-green and grey infrastructure through an adaptation pathways approach to surface water flooding. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378(2168), 20190204.

Kozak, D., Henderson, H., de Castro Mazarro, A., Rotbart, D., & Aradas, R. (2020). Blue-green infrastructure (BGI) in dense urban watersheds. The case of the Medrano stream basin (MSB) in Buenos Aires. *Sustainability*, 12(6), 2163.

Marvin, J. T., Scott, J., Drake, J. A., Van Seters, T., & Bowers, R. (2020). *Winter Maintenance of Permeable Interlocking Concrete Pavement: Evaluating Opportunities to Reduce Road Salt Pollution and Improve Winter Safety* (Vol. 2675). SAGE Publications Ltd. <https://doi-org.ezp.sub.su.se/10.1177/0361198120957320>

MSB (2017) Vägledning för skyfallskartering Tips för genomförande och exempel på användning. Publikationsnummer: MSB1121 - augusti 2017

New Jersey Department of Environmental Protection - Division of Watershed Management, (2003) *The New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual*, Chapter 9.1: Standard for Bioretention Systems. State of New Jersey Department of Environmental Protection, Trenton, N.J.

Reu Junqueira, J., Serrao-Neumann, S., & White, I. (2022). Using green infrastructure as a social equity approach to reduce flood risks and address climate change impacts: A comparison of performance between cities and towns. *Cities*, 131. <https://doi-org.ezp.sub.su.se/10.1016/j.cities.2022.104051>

Sánchez, F.G., Govindarajulu, D. (2023) Integrating blue-green infrastructure in urban planning for climate adaptation: Lessons from Chennai and Kochi, India. *Land Use Policy*, 124, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106455>

Shafique, M., Kim, R., & Kyung-Ho, K. (2018). Evaluating the capability of grass swale for the rainfall runoff reduction from an Urban parking lot, Seoul, Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3). <https://doi-org.ezp.sub.su.se/10.3390/ijerph15030537>

Simpson, I. M., Winston, R. J., & Tirpak, R. A. (2021). Assessing maintenance techniques and in-situ pavement conditions to restore hydraulic function of permeable interlocking concrete pavements. *Journal of environmental management*, 294, 112990.

SMHI (2022) *Observerad klimatförändring i Sverige 1860–2021*.

Sprouse, C. E., Hoover, C., Obritsch, O., Thomazin, H. (2020). Advancing Pervious Pavements through Nomenclature, Standards, and Holistic Green Design. *Sustainability*, 12(18), 7422. <http://dx.doi.org/10.3390/su12187422>

Stockholm stad (2015) *Dagvattenstrategi - Stockholms väg till en hållbar dagvattenhantering*. Stockholm: Stockholm stad.

Stockholm stad (2016a) *Gator och trafik*. Stockholm: Stockholm stad.

Stockholm stad (2016b) *Gatuplan – en del av framkomlighetsstrategin*. Stockholm: Stockholm stad.

- Stockholm stad (2017a) *Växtbäddar i Stockholms stad – en handbok 2017*. Stockholm: Stockholm stad.
- Stockholm stad (2017b) *Trafik- och gatumiljöplan för City*. Stockholm: Stockholm stad.
- Stockholm stad (2018a) *Miljödataportalen*. Skyfallsmodellen: Skyfall 2018, maxdjup (tk), Skyfall 2018, flödesvägar (tk), Skyfall 2018, maxdjup simuleringsslut (tk). <https://miljodataportalen.stockholm.se/> (Hämtad: 31 januari 2023).
- Stockholm stad (2018b) *Översiktsplan för Stockholms stad*. Stockholm: Stockholm stad
- Stockholm stad (2019) *Handbok Gata Stockholm*. Stockholm. Stockholm stad.
- Stockholms stad (2020) *Gestaltningssprogram för Östermalmstorgs tunnelbana*
- Stockholm stad, Stadsbyggnadskontoret (2015) *Grev Turegatan 13 omvandlas från bostäder till kontor*. Tjänsteutlåtande 2015-08-26 (Diarienummer 2014-00404)
- Stockholm stad, Stadsbyggnadskontoret (2017) *Trafikrapport Kv. Sperlingens Backe*. Rapport 2017-05-08 Diarienummer (2014-00404)
- Stockholm stad, Trafikkontoret (2016) *Stockholms trafikutveckling 2015 - cykel och gång*. Rapport 2015-04-14 (Diarienummer T2016-00800)
- Stockholm vatten och avfall (2019) *VA – policy*. Stockholm: Stockholm stad.
- Stockholms stad, Trafikkontoret (2021) *Förbättringar för gång, cykel och kollektivtrafik vid Nybroplan*. Genomförandebeslut. Tjänsteutlåtande 2021-01-15 (Diarienummer T2019-03300). Studentlitteratur. 115-145.
- Svensk Markbetong (2019) *Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning – Projektering, utförande samt drift och underhåll av multifunktionella gaturum*
- Toronto and Region Conservation (2008) *Performance Evaluation of Permeable Pavement and a Bioretention Swale*
- Trafikverket (2011) *TRVK Väg – Trafikverkets tekniska krav Vägkonstruktion*. TRV 2011:072
- Trafikverket (2021) *Vägöverbyggnad – Överbyggnad väg, Dimensionering och utformning*. TRVINFRA-00224
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (2021) *Green Streets Handbook* EPA 841-B-18-001
- United States Environmental Protection Agency (USEPA) (1999) *Stormwater Technology Factsheet: Bioretention*. USEPA Office of Water, Washington D.C.
- Vinnova (2017) *Klimatsäkrade systemtyper för urbana miljöer referensanläggningar och studier i urban miljö*. Del i projektet Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor. Diarienummer (2012-01271)
- Wang, J., Liu, J., Mei, C., Wang, H., & Lu, J. (2022). A multi-objective optimization model for synergistic effect analysis of integrated green-gray-blue drainage system in urban inundation control. *Journal of Hydrology*, 609. <https://doi-org.ezp.sub.su.se/10.1016/j.jhydrol.2022.127725>
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (4th Ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Appendix

Appendix A: Steg i GIS

Stegen som utfördes för att beräkna avrinningsområde i för studieområdet. Först hämtades en DEM över Östermalm och City som importerades i programmet. Det första steget i för att få fram avrinningsområdet var att använda funktionen "Fill":

Steg 1. Fill

- Input data: Höjddata (DEM)
- Output data: DEM_fill
- Z limit som default

"Fill" är ett verktyg som fyller i sänkor i ett höjddatat för att ta bort små brister. Görs inte detta kommer de resterande funktionerna inte fungera

Steg 2. Flow Direction

- Input data: DEM_fill
- Output data: Flow_Direction
- Flow direction metod: D8
- Övriga parametrar default

Därefter användes funktionen "flow direction" vilket skapar ett raster för flödesriktning från varje cell till dess nedåtgående granne eller grannar. I verktyget går det att använda tre flödesmodelleringsalgoritmer: D8, Multiple Flow Direction (MFD) och D-Infinity (DINF). D8 användes i denna studie och modellerar flödesriktningen från varje cell till dess brantaste nedförslänta granne.

Steg 3. Flow Accumulation

- Input data: Flow_Direction
- Output data: Flow_Accumulation
- Övriga parametrar default

Därefter användes verktyget "flow accumulation" vilket skapar ett raster av ackumulerat flöde in i varje cell.

Steg 4. Skapa ett punktlager (shapefile)

- Namn: Outlet_Point
- Koordinatsystem: Sweref99

Därefter skapades ett punktlager med två punkter som representerar utflödespunkterna för avrinningsområdet.

Steg 5. Watershed

- Input data: Flow_Direction och Outlet_Point
- Output data: Watershed
- Pour point fältet som default

Avrinningsområdet för punkterna avgränsades med flödesvägarna inmatade från höjddatat.

Steg 6. Raster till polygon

- Input data: Watershed

- b. Output data: Watershed_polygon
- c. Övriga parametrar default

Det sista steget var att göra om rastret av avrinningsområdet till en polygon för att kunna beräkna avrinningsområdets area vilket var relevant för analysen av BGG-systemens fördröjningsvolym.