CHALMERS

Hydrogeologisk studie av multifunktionella blågröna tak

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

Oskar Andersson och Mohammed Alhajamy

INSTITUTIONEN FÖR SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNING FÖR VATTENMILJÖTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025 www.chalmers.se

Hydrogeologisk studie av multifunktionella blågröna tak

Oskar Andersson
Mohammed Alhajamy

SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
Avdelningen för vattenmiljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025

Hydrogeologisk studie av multifunktionella blågröna tak

OSKAR ANDERSSON
MOHAMMED ALHAJAMY

© OSKAR ANDERSSON, 2025
© MOHAMMED ALHAJAMY, 2025

Samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Framsida: Ett flerfamiljshus med ett blågrönt tak.
Skapad med generativ AI i Adobe Firefly.

Göteborg, Sverige 2025

Förord

Detta examensarbete är utfört vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg inom Samhällsbyggnadsteknik under våren 2025. Arbetet omfattar 15 hp och har genomförts i samarbete med Orbia Building & Infrastructure (Wavin) och Karlsson Söderberg Konsult AB.

Först och främst vill vi rikta ett stort tack till våra handledare på Orbia. Tack för att vi fått utföra examensarbetet hos er och tack för allt stöd ni gett oss under arbetets gång. Vi vill även tacka all övrig personal som vi har haft samtal och intervjuer med på företaget för att ni har ställt upp och svarat på frågor. Vi riktar även ett stort tack till Pascal Karlsson på Karlsson–Söderberg Konsult AB. Tack för att vi fick utföra studier på ditt tak och tack för de engagemang som du haft under arbetets gång.

Avslutningsvis vill vi framföra vårt varma tack till Jesper Knutsson, vår handledare på Chalmers, för ett otroligt engagemang, feedback och de värdefulla insikter vi har erhållit under arbetets gång.

Göteborg – Maj 2025

Oskar Andersson

Mohammed Alhajamy

Sammanfattning

I takt med en ökad urbanisering och klimatförändringar blir behovet av hållbara lösningar för dagvattenhantering alltmer angeläget. Detta arbete utreder potentialen hos blågröna tak som en innovativ metod för att hantera regnvatten, minska översvämningsrisk och bidra till en mer resilient stadsmiljö. Studien fokuserar på en blågrön taklösning i Göteborg som en fallstudie, med syfte att analysera hur dessa system kan bidra till lokal dagvattenhantering, energieffektivitet och ekologiska värden.

Arbetet kombinerar en litteraturstudie med praktiska mätningar av nederbörd, temperatur och vattennivåer under en period på våren. Resultaten visar att det blågröna taket kan magasinera och fördröja regnvatten effektivt, vilket avlastar stadens avloppssystem vid nederbörd. Dessutom påvisades en viss isolerande effekt i takkonstruktionen, samt potential för ökad biologisk mångfald.

Trots begränsningar i form av låg nederbörd under mätperioden visar studien att blågröna tak har stor potential som del av framtidens hållbara stadsplanering. För att fullt ut utvärdera systemets kapacitet rekommenderas vidare studier över längre tidsperioder och under varierande väderförhållanden. Slutsatserna i denna rapport kan fungera som ett underlag för kommuner, fastighetsägare och andra aktörer som vill implementera mer hållbara lösningar i urbana miljöer.

ABSTRACT

ABSTRACT

As urbanization and climate change accelerate, the need for sustainable stormwater management solutions becomes increasingly urgent. This report investigates the potential of blue-green roofs as an innovative method for managing rainwater, reducing flood risks, and contributing to more resilient urban environments.

The study focuses on a blue-green roof system in Gothenburg as a case study, aiming to analyze how such systems can support local stormwater management, energy efficiency, and ecological value.

The research combines a literature review with practical measurements of precipitation, temperature, and water levels during the spring season. Results indicate that the blue-green roof can effectively store and delay runoff, thereby reducing the burden on urban drainage systems during rainfall events. Additionally, the roof showed thermal insulation properties and potential to support biodiversity. Despite limitations due to low precipitation during the measurement period, the study suggests that blue-green roofs hold significant promise as part of future sustainable urban planning. Further long-term studies under varying weather conditions are recommended to fully assess their performance. The findings in this report can serve as a foundation for municipalities, property owners, and other stakeholders seeking to implement more sustainable infrastructure in urban areas..

BEGREPPSDEFINITION

Dagvatten - Dagvatten är regn- och smältvatten som avleds från hårdgjorda ytor såsom tak, vägar, parkeringsplatser och innergårdar.
Blågröna tak - Blågröna tak är vegetationssystem anlagda på takkonstruktioner som kombinerar gröna taks växtlighet med blå taks vattenhantering för att magasinera och återanvända regnvatten
SMHI – Sveriges meteorologiska och Hydrologiska Institut
Arduino UNO – En mikrokontrollerbaserad utvecklingsplattform som används för att styra elektronik och samla in sensordata.
tipping bucket-regnmätare - instrument för att mäta nederbördsmängd och intensitet.

BETECKNINGSLISTA

q = värmeflöde (W)
U = U-värde (W/m²·K)
A = Area, i detta fall av taket (m²)
ΔT = temperaturskillnad inne/ute (°C)

Innehållsförteckning

1.Inledning 7
1.1 Bakgrund 8
1.2 Syfte 8
1.3 Avgränsningar 9
1.4 Frågeställningar 9
2.Teori 11
2.1 Klimatförändringar och dagvattenhantering 11
2.1.1 Förändrat klimat i samhället 11
2.1.2 Effekter av förändrat klimat 12
2.2 Dagens Dagvattenhantering 13
2.2.1 EU:s Lagar och direktiv för hållbar dagvattenhantering 14
2.2.2 Dagens metoder 14
2.2.1 Lagar och direktiv för dagvattenhantering i Sverige 15
2.2.3 Påverkan på samhället 16
2.3 Dagvattenhantering metoder 17
2.3.1 Gröna tak 17
2.3.2 Regnbäddar 18
2.3.3 Blå Tak 19
2.3.4 Blå taks uppbyggnad 20
2.3.5 Fördelar Blågröna tak 21
2.3.6 Hinder och utmaningar 23
2.3.7 Forskning och utveckling 23
3.Metod 25
3.1 Litteraturstudie 25
3.2 Fallstudie 25
4. Fallstudie 26
4.1 Mätning 26
4.2 Funktionalitet 26
4.3 Dataloggning 27
4.4 Arkitektur & komponenter 27
4.5 Utförande 28
4.6 Beräkningar 31
5.Resultat 32
4.1 Temperaturvariationer 32
5.3 Nederbörd och vattennivåer 33
5.4 Ackumulerad nederbörd och respons 34

6.Diskussion 36
6.1 Temperaturvariationer 36
6.2 Nederbörd och vattennivåer 36
6.3 Begränsningar och förbättringsförslag 37
6.4 Övergripande reflektioner 37
7.Slutsats 39
Referenser: 41
Arduinokod 43

1.Inledning

Detta kapitel introducerar rapportens bakgrund, syfte och avgränsningar. Avslutningsvis definieras de centrala frågeställningarna som ligger till grund för rapporten.

1.1 Bakgrund

FNs globala hållbarhetsmål, även kallad för Agenda 2030, är en av de mest ambitiösa och omfattade hållbarhetsmålen. Det är 17 mål, vars syfte är att skapa en mer hållbar, rättvis och fredlig värld genom att bekämpa fattigdom, minska ojämlikheter och skydda miljön, (Globala målen, n.d.). Ett av de viktigaste mål som världens stats- och regeringschefer såg var att lösa den växande klimatkrisen. Med klimatkrisen menas den globala uppvärmningen och de extrema väderförändringar som orsakats av människans utsläpp av växthusgaser, främst koldioxid, (Naturvårdsverket, u.å.). Studier visar också på att nederbörden i Sverige kan komma att förändras, specifikt öka på grund av de klimatförändringarna som förväntas komma, (Naturvårdsverket, n.d.).

Urbanisering är ett begrepp som beskriver processen där en allt större andel av befolkningen flyttar från landsbygden till städer, vilket leder till att städer växer både befolkningsmässigt och geografiskt, (Boverket, 2019). Denna utveckling drivs av faktorer såsom ekonomiska möjligheter, förbättrad infrastruktur, teknologisk utveckling och sociala förändringar. I takt med att urbaniseringen ökar, de större städerna fortsätter att växa, finns mindre yta att arbeta på och därav växer behovet av hållbara och smarta lösningar för städer. En av de innovativa strategierna som vuxit fram för att hantera dessa utmaningar är blågröna tak, en kombination av vegetationsklädda gröna tak och vattenhanterande blå tak. Blågröna tak innebär att regnvatten samlas upp i ett magasin på taket och används för att bevattna växterna. I vissa fall, som i Wavins system, handlar det inte enbart om passiv lagring, utan även om smart styrning. Det innebär att vattenvolymen på taket kan regleras efter behov, till exempel för att skapa utrymme inför ett kommande regn eller optimera bevattningen utifrån väderförhållanden.

1.2 Syfte

Idag finns endast ett fåtal blågröna tak i installerade i Norra Europa. Projektet syftar till att ge en djupare förståelse för grunderna i blågröna taks funktion och deras roll i hållbar stadsutveckling. Huvudfokus ligger på hur dessa taksystem kan bidra till effektiv hantering av dagvatten genom att magasinera och återanvända regnvatten för bevattning av växtligheten på taket.

Genom att undersöka de tekniska aspekterna av blågröna tak, såsom vattenlagring, avdunstning och filtrering, strävar projektet efter att klargöra hur dessa system kan minska belastningen på stadens dagvattensystem och därmed bidra till att förebygga översvämningar vid kraftiga skyfall. Samtidigt analyseras takens positiva effekter på stadsmiljön, exempelvis genom förbättrad luftkvalitet, minskad urban värmeeffekt och ökad biologisk mångfald.

Vidare syftar projektet till att utvärdera blågröna taks energieffektivitet och deras potential att minska byggnaders energiförbrukning genom isolerande egenskaper. Genom en holistisk analys av deras funktion, fördelar och utmaningar, kan projektet ge en mer heltäckande bild av hur blågröna tak kan integreras i framtidens hållbara stadsplanering.

1.3 Avgränsningar

Studien är avgränsad till att undersöka ett specifikt grönt tak som en fallstudie, nämligen Wavins Blågröna tak på Guldheden i Göteborg, i kombination med en litteraturöversikt. Den kommer inte att inkludera en bredare analys av flera gröna tak eller deras funktion i praktiken, då detta skulle kräva en mer omfattande studie.

Vidare begränsas studien till att analysera underhållet av gröna tak och deras potentiella fördelar, utan att fördjupa sig i ekonomiska aspekter eller byggnadstekniska detaljer. Dessa områden har uteslutits eftersom de skulle göra arbetet alltför omfattande och tidskrävande inom den planerade tidsramen på 20 veckor. Avgränsningen gör det möjligt att fokusera på takets funktion, dess påverkan på miljön och de praktiska aspekterna av dess skötsel.

1.4 Frågeställningar

Studien syftar till att besvara följande frågor relaterade till blågröna tak och deras funktioner:

Hur kan blågröna tak bidra till dagens dagvattenhantering i urbana miljöer?

Hur kan blågröna tak bidra till hållbar stadsutveckling?

Hur kan blågröna taks isolerande egenskaper energieffektivisera byggnaden?

2.Teori

I det följande teorikapitlet presenteras de huvudsakliga typerna av blågröna tak samt deras specifika egenskaper. Vidare beskrivs blågröna taks uppbyggnad och de material som används i deras konstruktion. Avsnittet belyser även de fördelar, utmaningar och potentiella begränsningar som vegetationstäckta tak medför, både ur ett ekologiskt och tekniskt perspektiv. Dessutom diskuteras dagvattnets påverkan på stadsmiljön samt den teoretiska grunden för hur dagvattenflöde kan beräknas och hanteras genom gröna taklösningar.

2.1 Klimatförändringar och dagvattenhantering

2.1.1 Förändrat klimat i samhället

De globala hållbarhetsmålen antogs av FN:s medlemsländer år 2015, (United Nations, 2015). Detta var en del av agenda 2030 som förespråkar att hållbar utveckling ska nås globalt till år 2030. Bortsett från fattigdom och god hälsa så innehåller också planen mål för hållbar utveckling som inkluderar sociala, ekonomiska och miljömässiga aspekter. Klimatförändringar är en av de största globala utmaningarna som påverkar alla delar av samhället. Ökade temperaturer, förändrade nederbördsmönster och extremväder såsom kraftiga regn och skyfall har blivit allt vanligare. Enligt studier ifrån SMHI (2023), har Sveriges årsmedeltemperatur ökat med 1,9 °C sedan 1861. En stigande medeltemperatur kan ha stor påverkan på samhället och kan leda till värmeböljor och förändrade klimatmönster.

Årsnederbörden i Sverige har också stigit från cirka 600 mm/år år 1930 till nästan 700 mm/år från år 2000 och framåt (SMHI,2023).

Figur 1: Spridning av rökgaser från förbränning innehållande koldioxid som bidrar till växthuseffekten (Havet.nu, 2012).

2.1.2 Effekter av förändrat klimat

De förändringar som klimatförändringarna medför påverkar oss människor på flera sätt. Ett varmare klimat leder ofta till kraftigare skyfall, vilket kan orsaka översvämningar i urbana miljöer. Förutom oftare och kraftigare skyfall kan förändrat klimat förändra nederbördens flödesmönster vilket kan medföra längre perioder med torka, och risken för att detta sker är under sommaren. Längre torrperioder har i sin tur en förmåga att påverka dagvatten avrinningen som innebär lägre vattenflöden i vattendrag och detta har en dålig påverkan på vattenkvaliteten, (Länsstyrelsen,2015).

Klimatförändringar med kraftigare regn och skyfall och samtidigt ökade förtätningar i urbana miljöer med mer hårda ytor bidrar till risk för större mängd föroreningar i dagvattnet samtidigt som det inte kan absorberas i samma utsträckning som innan. Den dåliga kontrollen som en konsekvens av både förändrat klimat och stadsbebyggelse leder till både en ökad spridning av föroreningar i dagvattnet och även stora skador på fastigheter och infrastruktur (Naturvårdsverket, 2017). Föroreningar i dagvattnet leder i sin tur till försämrad vattenkvalitet då transport av giftiga metaller (t.ex. zink, bly, koppar), näringsämnen (kväve och fosfor) och organiska ämnen till hav, vattendrag och sjöar kan orsaka bioackumulering, toxicitet och övergödning

Organiska föroreningar som t ex per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS) (ref?) och polycycliska aromatiska kolväten (PAH) (Markiewicz et al., 2017) och mikroplaster från gummidäck (Järlskog et al., 2023)har en lång uppehållstid i miljö och kan spridas vidare på grund av den dåliga kontrollen av dagvatten idag, detta kan i sin tur påverka dricksvattnet som kan ha en direkt fara och risker för människors hälsa, livsmedelverket (2024).

Ett förändrat klimat har betydande negativa effekter för hela ekosystemet, varför detta arbete undersöker hur effektivt ett blågrönt tak är som en lösning. Ramdirektivet (EU:s vattendirektiv) som är en styrande lagstiftning inom EU:s politik kan vara en faktor som främjar en hållbar dagvattenhantering och är en bra motivering för att använda blågröna tak i samhället.

2.2 Dagvattenhantering

Nuvarande dagvattenhantering varierar beroende på geografiskt läge och samhällsstruktur. Traditionellt sett är dagvattenhanteringen en central del i den

kommunala infrastrukturen och syftet är att på ett effektivt sätt genom hanteringen kunna förebygga bland annat översvämningar, erosion, skred och överbelastning av vattensystem.
EU har även tagit fram ett vattendirektiv för samtliga EU länder (ramdirektivet), där syftet är att vi ska ta hand om våra vattenresurser så att kommande generationer ska få tillgång till vatten av bra kvalitet i tillräcklig mängd(Vattenmyndigheterna, u.å).
EU:s krav ligger till grund för vattenförvaltningen i Sverige som syftar till att förbättra våra vatten och skapa en hållbar förvaltning av de regelverken som styr detta och gäller även för alla medlemsländer för förvaltning av sina vatten. Regelverken främjar en säker tillgång på dricksvatten och samtidigt bevarar viktiga naturliga miljöer.

2.2.1 EU:s Lagar och direktiv för hållbar dagvattenhantering

EU-direktivet är till största del infört i miljöbalken, vattenförvaltningsförordningen och länsstyrelsernas instruktioner, som ett komplement till detta så finns det även tre så kallade dotterdirektiv. De olika dotterdirektiven delas upp på följande sätt, ett för grundvatten, ett för prioriterade ämnen i ytvatten och ett tekniskt direktiv om kvalitetskrav på kemiska analyser. Direktiven gäller alla sjöar, vattendrag, grundvatten och kustnära hav i Sverige.
Vattenförvaltnings arbetet sker i cykler som varar under sex år, därefter börjar man om arbetet med en utgångspunkt från den senaste cykeln. Inför en ny cykel tar vattenmyndigheterna fram en förvaltningsplan. En ny cykel inleds alltid med kartläggning utifrån data från miljöövervakning för att sedan ta fram ett underlag för klassificering av hur vattnen mår för att i sin tur kunna bestämma miljökvalitetsnormer. Vattenförvaltningsarbetet är en stor del i regeringens handlingsplan inför Agenda 2030 där mål 6 “Säkerställa tillgången till och en hållbar förvaltning av vatten och sanitet för alla” är ett centralt och viktigt mål. Regeringen arbetar med mål 6, genom de nationella miljömålen och även genom att utveckla och förbättra dagens vattenförvaltning, Vattenmyndigheterna (u.å).

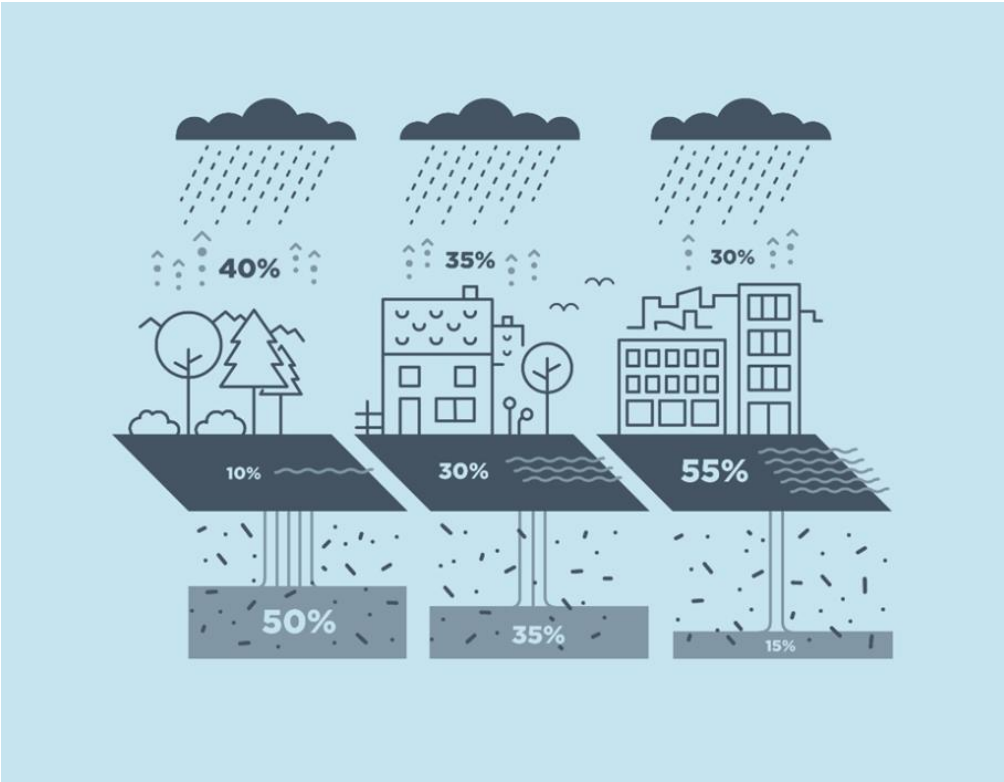
2.2.2 Metoder att hantera dagvatten

Idag renas cirka åtta procent av dagvattnet i större städer i Sverige innan det transporteras vidare ut till sjöar och hav, detta betyder att cirka 92% av dagvattnet som når recipienter är förorenat och detta innebär att föroreningar sprider sig på grund av otillräcklig hantering av dagvatten (Naturvårdsverket, 2017).

Idag renas ca 4% i dagvattenanläggningar såsom våtmarker, dagvattendammar och liknande blågrön infrastruktur.

Dagens metoder av olika dagvattenhanteringar i svenska kommuner präglas av mer hållbara och klimatanpassade lösningar, genom att kombinera både naturbaserade och tekniska metoder.
Det är viktigt att redan i planeringsskedet att planera för hur dagvatten och skyfall ska hanteras för att både förbättra miljön och minska risken för översvämningar.

Flera kommuner arbetar med något som kallas för lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD), och detta innebär att dagvattnet i så stor utsträckning aom möjligt ska hanteras i direkt anslutning till källan. Detta görs för att bland annat minska belastningen på ledningsnät



Figur 2: Regnvattnets avrinning, evaporation och infiltration i marken beroende på hur mycket hårdgjord yta som finns i området.

2.2.1 Lagar och direktiv för dagvattenhantering i Sverige

Dagvattenhantering i Sverige regleras av flera lagar och direktiv som syftar till att skydda miljön och säkerställa hållbar vattenanvändning. Enligt miljöbalken (SFS 1998:808, kap. 9) ska dagvatten hanteras på ett sätt som inte skadar miljön, och

kommunerna har ett särskilt ansvar för att planera och övervaka dagvattensystem (SFS 1998:808). Dessutom innehåller plan- och bygglagen (SFS 2010:900) krav på att ny exploatering ska ta hänsyn till dagvattenhantering för att undvika översvämningar och erosion (Boverket, 2020).
I och med nya lagar och direktiv så blir dagvattenhantering aktuellt för nybyggen samt för kommuners hantering av dagvatten.

2.2.3 Påverkan på samhället

Klimatförändringar innebär stora förändringar i samhället och många utmaningar inom dagvattenhantering kräver hållbara och innovativa lösningar för att möjliggöra anspassning efter det nya klimatet och minska riskerna för en dålig dagvattenhantering.
Effekterna av klimatförändringar och otillräcklig dagvattenhantering påverkar samhället på flera nivåer både direkt och indirekt. Ekonomiskt kan det leda till stora kostnader för skador på byggnader och infrastruktur. Vid kraftig nederbörd ökar risken för översvämningar vilket i sin tur kan skada byggnader, vägar och VA-system. Kommuner, fastighetsägare och försäkringsbolagen drabbas av detta mest,vilket innebär att höga kostnader ska täckas på grund av skadan som skett av den otillräckliga hanteringen från kommunerna av dagvatten.

I dagens samhälle finns det flera riskgrupper som är särskilt sårbara för den otillräckliga hanteringen av dagvatten. Äldre personer och barn löper särskilt hög risk vid översvämningar och vid exponering för förorenat vatten. Mikrobiella patogener, såsom bakterier och virus, kan spridas via dagvatten och orsaka vattenburna sjukdomar, vilket kan få allvarliga konsekvenser för personer med svagare immunsystem, såsom små barn och äldre individer (Folkhälsomyndigheten, 2024).

Samhällsplaneringen är viktig enligt hälsomyndigheten och bör ta hänsyn till dess riskgrupper genom att vidta flera olika åtgärder kan samhället skydda dem mest sårbara från de negativa konsekvenserna med en dagvattenhantering som inte är tillräcklig. Det är viktigt att informera och utbilda vårdnadshavare och äldre personer om vilka risker det finns med otillräcklig vattenhantering och hur man kan förebygga det. Det är även viktigt att se till att äldreboenden och liknande allmänna inrättningar har bra system för dagvattenhantering för att undvika översvämningar och spridning av föroreningar (Hälsomyndigheten, 2024).

Figur 3 En översvämmad gångtunnel, vilket illustrerar behovet av förbättrad dagvattenhantering i städer (Östberg, u.å.).

2.3 Dagvattenhantering metoder

2.3.1 Gröna tak

Gröna tak är en populär lösning för att hantera dagvatten och samtidigt skapa grönare och mer hållbara stadsmiljöer. Dessa tak består av ett lager växtlighet, som gräs, örter, buskar och planteras ovanpå en specifik takyta. Dessa tak är multifunktionella och fungerar som naturliga regnvattenbuffertar genom att absorbera och fördröja nederbörd, vilket minskar risken för översvämningar och överbelastning av dagvattensystem (Naturvårdsverket, 2021). Dessa tak kan också sänka omgivningstemperaturen genom avdunstning, vilket motverkar urbana värmelandskap (EU-kommissionen, 2022). Gröna taks nya teknik hjälper samhällen anpassa sig bättre över de förväntade klimatförändringar och är en viktig nyckel för kommande infrastrukturmål. Dock finns ett par brister med gröna tak.

Det är viktigt att montering av gröna tak utförs på rätt sätt. Om inte konstruktionen är korrekt utformad kan läckage eller takskador uppstå (Svensk Byggtjänst, 2022). Dessutom har gröna takproblematik att bli ”mättad”, det vill säga att vid mycket kraftiga skyfall kan gröna tak inte längre lagra vatten (SMHI, 2023). Detta leder oss vidare till utveckling av gröna tak vars strategi är att magasinera nederbörd.

2.3.2 Regnbäddar

Regnbäddar är en annan effektiv blågrön lösning för att hantera dagvatten lokalt. En regnbädd är en nedsänkt yta fylld med genomsläppliga jordmaterial och ofta växtlighet, som placeras i anslutning till hårdgjorda ytor som vägar, trottoarer eller parkeringsytor. Regnbäddens funktion är att samla in, filtrera och fördröja regnvatten från omgivande ytor, vilket minskar både mängden och hastigheten av avrinning. Genom att kombinera biologisk nedbrytning och infiltration bidrar regnbäddar inte bara till ökad dagvattenkapacitet, utan också till förbättrad vattenkvalitet genom att fånga upp föroreningar (Boverket, 2020). Regnbäddar kan också rena dagvattnet från föroreningar och om sorbentmaterial adderas i bäddarna kan föroreningar hållas kvar i bäddarna även under vintertid när växterna vilar (Johansson et al., 2024). Dessutom kan regnbäddar skapa värdefulla gröna inslag i urbana miljöer och gynna den biologiska mångfalden. För att fungera optimalt kräver regnbäddar korrekt dimensionering, anpassad växtlighet och regelbundet underhåll, särskilt i områden med mycket nederbörd eller risk för slam och skräp.

Figur 4: Bild visar hur träd i stadsmiljö integreras i dagvattenlösningar, särskilt genom växtbäddar och regnbäddar (Östberg, u.å.).

2.3.3 Blå Tak

Blå tak är en innovativ lösning för att hantera dagvatten i städer. Genom att bygga på konceptet av gröna tak, är blågröna tak utformade med en högre kapacitet att lagra och fördröja regnvatten, vilket minskar belastningen på dagvattensystemet vid kraftiga regn. Regnvatten som rinner in genom taket kan antingen användas för passivt bruk, där vattnet hålls kvar en kortare tid innan det släpps ut, eller aktivt bruk, där vattnet kan återanvändas för bevattning, kylning eller toalettspolning (IVL, 2022).

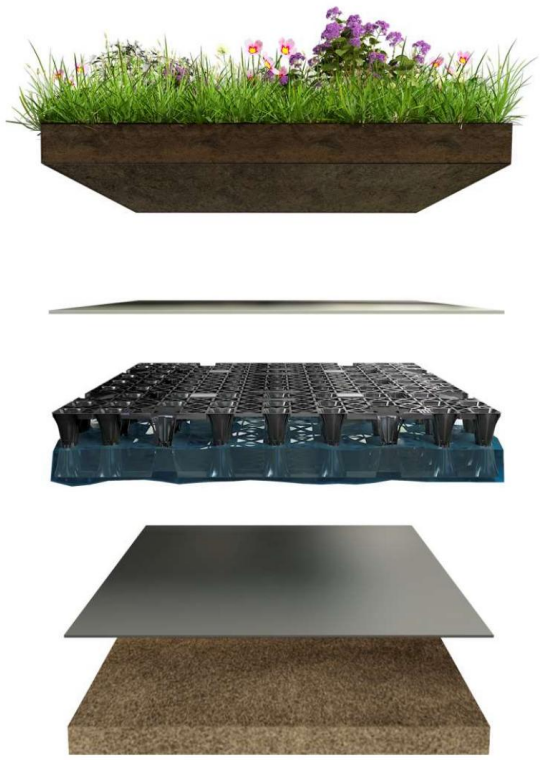
Figur 5: Ett exempel på ett grönt tak från leverantören Greenroof.se, som illustrerar typisk vegetation och uppbyggnad (Greenroof.se, n.d.).

2.3.4 Blå taks uppbyggnad

Ett blått tak är en teknisk lösning för att lagra, fördröja och styra dagvatten på takytor. Till skillnad från gröna tak, som fokuserar på vegetation, är blå tak utformade för vattenhantering genom strukturerade lager och system.

Blå tak kan delas in i två huvudtyper beroende på hur de hanterar det lagrade regnvattnet: passiva och aktiva system. I ett passivt blått tak samlas regnvattnet temporärt i särskilda magasin eller behållare och släpps därefter långsamt ut i dagvattensystemet. Detta sker utan någon avancerad styrning, och syftet är främst att fördröja avrinningen vid skyfall för att minska belastningen på avloppsnätet. I kontrast används ett aktivt blått tak för att både lagra och styra användningen av vattnet. Genom sensorer, ventiler och digital styrning kan det lagrade vattnet släppas ut vid optimala tidpunkter eller återanvändas för exempelvis bevattning, spolning eller kylning av byggnader. Aktiva system kräver mer avancerad teknik och underhåll, men erbjuder också större flexibilitet och nytta, särskilt i områden där

resursåteranvändning och klimatanpassning är prioriterade mål (IVL, 2022).



Figur 6: Uppbyggnad av ett blågrönt tak är med Wawins blågröna takkoncept

2.3.5 Fördelar Blågröna tak

Blågröna tak kombinerar de funktionella fördelarna hos blå tak, kapacitet att samla, fördröja och återanvända regnvatten, med de ekologiska och estetiska värden som gröna tak erbjuder genom växtlighet och ekosystemtjänster. Denna kombination gör blågröna tak till en kraftfull lösning för att möta flera utmaningar i den urbana miljön, särskilt i samband med klimatförändringar och ökad nederbörd.

En av de främsta fördelarna är förbättrad dagvattenhantering. Genom att fördröja och tillfälligt lagra regnvatten minskar blågröna tak belastningen på avloppssystem vid kraftiga skyfall, vilket minskar risken för översvämningar. Systemets utformning kan anpassas för att hantera både normala och extrema väderförhållanden, vilket gör det till ett värdefullt verktyg för klimatanpassning i städer.

Blågröna tak har också energibesparande egenskaper. Den vegetativa delen bidrar till att isolera byggnaden, vilket kan leda till minskade behov av uppvärmning vintertid och kylning under sommaren. Den vattenhållande delen förstärker denna effekt

genom att dämpa temperaturvariationer ytterligare, särskilt under varma perioder då avdunstning från takytan ger en naturlig kyleffekt.
Ytterligare en fördel är det ökade ekologiska värdet. Vegetationen skapar livsmiljöer för pollinatörer och andra smådjur, och bidrar därmed till den biologiska mångfalden i stadsmiljön. Detta är särskilt viktigt i tätt bebyggda områden där gröna ytor är begränsade. I kombination med de tekniska lösningarna blir blågröna tak därmed både funktionella och ekologiskt värdefulla.

Figur 7: Vegetation och en humla på ett blågrönt tak,(Karlsson & Söderberg, u.å.).

Slutligen förbättrar blågröna tak också den visuella kvaliteten i stadslandskapet. De skapar grönare miljöer som kan användas för rekreation eller ses från intilliggande byggnader, vilket kan höja livskvaliteten och fastighetsvärdet.
Sammanfattningsvis erbjuder blågröna tak en integrerad lösning som möter tekniska, ekologiska och sociala behov i en och samma struktur, något som gör dem särskilt intressanta för framtida hållbar stadsutveckling.

Figur 8: Ett genomfört projekt med blågrönt tak, där både regnvattenbuffring och biologisk mångfald står i fokus (Karlsson & Söderberg, n.d.).

2.3.6 Hinder och utmaningar

Trots många fördelar finns det flera utmaningar som kan begränsa användningen av blågröna tak. Att taket kräver en viss installation kan vara avgörande för byggherren, där vattenlagring kan verka dyrare än traditionella tak, (Svensk Byggtjänst, 2023). Detta samt att många fastighetsägare och arkitekter är ointroducerade i tekniken över blågröna tak, (Svenskt Vatten, 2023). I Norden finner vi bara ett par fåtal blågröna tak med magasinering, trots ny proposition om dagvattenhantering, som inkluderar krav på kommunala vattentjänstplaner, (Svenskt Vatten, 2023). För att utreda Blågröna taks funktion genomförs denna studie med en metod som innefattar både datainsamling och analys.

2.3.7 Forskning och utveckling

Ur de senaste studierna och forskning går det att konstatera att blå-grön infrastruktur har en god och stor potential som en klimatanpassningsstrategi i samhället för att kunna hantera dagvatten på ett effektivt sätt och samtidigt minska den globala uppvärmningen. Blå-grön infrastruktur är multifunktionellt då det erbjuder flera fördelar samtidigt, sociala, ekonomiska och miljömässiga fördelar.
Forskningen menar att vi får en ökad resiliens mot klimatförändringar då blå-grön infrastruktur minskar risken för översvämningar och skapar buffertzoner mot extremväder. Vattenkvaliteten förbättras då blågrön infrastruktur fungerar som ett

naturligt filter och kan rena föroreningar innan de når vattendrag. Ur den sociala och ekonomiska aspekten menar forskningen att fastighetsvärdet ökar och kan även attrahera investeringar ifall ett blå-grönt tak eller liknande infrastruktur är installerat i anslutning till fastigheten. Det blå-gröna området främjar folkhälsan och skapar en social sammanhållning samtidigt som den bidrar till människors fysiska och psykiska välbefinnande och förbättrar stadsmiljön, (Sceience target, 2017).

Ett gemensamt hinder för all implementering av blå-grön infrastruktur är bristen på samordning och den finansiella begränsningen kommunerna i Sverige har då investeringskostnader för blå-grön infrastruktur kan upplevas som höga och samtidigt som en osäker finansiering då det finns en brist på teknisk kompetens och andra riktlinjer kring blå-grön infrastruktur. För att kunna effektivisera implementeringen behövs ett samarbete mellan samhället, myndigheterna och andra privata aktörer.

För att kunna verkställa blå-gröna infrastrukturens fulla potential i samhället krävs det en förbättring i flera utvecklingsområden, (ScienceDirekt, 2021). Brist på kompetens och kunskaper om blå-grön infrastruktur och dess fördelar och funktioner försvårar processen med att kunna implementera sådana lösningar i samhället. Det behövs goda kunskaper om fördelarna med den typen av infrastruktur för att kunna förbättra både den finansiella delen och samordningen mellan olika aktörer och sektorer. Enligt forskningsrapporten är det även väldigt viktigt att utveckla tekniska riktlinjer och att den typen av infrastruktur kan integreras i regelverk, policy och annan fysisk planering då det kan skapa en bra utgångspunkt för långsiktig och systematisk implementering.

3.Metod

I detta kapitel ges en översikt av studiens process. Här presenteras de metoder och det genomförande som använts, inklusive tillvägagångssättet för datainsamling och dataanalys. Kapitlet avslutas med en diskussion om litteraturens trovärdighet.

3.1 Litteraturstudie

Genomförandet av litteraturstudien har grundats på sökningar i olika databaser som är tillgängliga via Chalmers. Litteraturstudien genomfördes i syfte att ge en övergripande förståelse för gröna tak, deras fördelar och deras begränsningar. Urvalet av vetenskapliga artiklar gjordes strategiskt för att säkerställa att de var relevanta för studiens frågeställningar och bidrog med olika perspektiv på blågröna tak.

3.2 Fallstudie

Wavin tillsammans med Pascal Karlsson har konstruerat ett blågrönt tak i Guldheden i Göteborg. För att få en bättre förståelse kring de blågröna takets funktion, har en fallstudie genomförts mellan perioden 4 Mars till 5 Maj. Studien syftar till att utvärdera takets kapacitet att hantera dagvatten i en urban miljö, i linje med projektets mål om att analysera tekniska lösningar för hållbar dagvattenhantering. Genom observationer på plats, mätdata samt intervjuer med relevanta aktörer har en samlad bild av takets funktionalitet och potential tagits fram. Fokus ligger särskilt på dess förmåga att magasinera och fördröja regnvatten, samt vilka tekniska och praktiska lärdomar som kan dras inför framtida implementering av blågröna tak i svenska städer.

4. Fallstudie

Guldheden representerar en urban kontext med varierande höjdskillnader, befintlig bebyggelse och relevanta klimatförhållanden, vilket gör området lämpligt för att undersöka såväl tekniska som miljömässiga förutsättningar. Genom att använda Wavins modelleringsteknik möjliggörs en detaljerad analys av takets kapacitet att hantera nederbörd, fördröja avrinning och bidra till lokal dagvattenhantering. Resultaten från denna studie kan därefter fungera som underlag för vidare tillämpning av blågröna tak i liknande urbana miljöer runt om i Sverige. Analysen tar hänsyn till både nuvarande och framtida utmaningar kopplade till klimatförändringar, nederbördsmönster, vattenflöden och kommunala riktlinjer för hållbar stadsutveckling. stadsutveckling.

4.1 Mätning

För att samla empiriska data till fallstudien har fältmätningssystem använts. Det utvecklade systemet är ett mätningssystem baserat på Arduino Uno R3 som registrerar och loggar regnmängd, temperatur och nivåvariationer med en mätnoggrannhet och upplösning anpassad för miljöövervakning och hydrologiska tillämpningar. Arduinoenheten har kodats för att säkerställa regelbunden mätfrekvens och robust felhantering. För närmare insyn i funktion och implementation hänvisas till avsnittet Arduinokod.

4.2 Funktionalitet

Systemet utför automatiserade mätningar av:

- Nederbörd med hjälp av en tipping bucket-regnmätare som ger en elektrisk impuls vid varje tippning. Impulser räknas kontinuerligt och omvandlas till millimeter nederbörd med ett kalibrerat faktorvärde.
- Temperatur via två DS18B20 digitala temperatursensorer anslutna via OneWire-protokoll. Mätvärden registreras med en decimal upplösning.
- Nivåmätning med två JSN-SR04T ultraljudssensorer, vilket möjliggör beräkning av avstånd till exempelvis vattenyta eller tanknivå.

4.3 Dataloggning

Mätdata loggas var tionde minut till ett microSD-kort i CSV-format med följande parametrar:

- Tidsstämpel (datum och tid från en DS3231 realtidsklocka)
- Temperatur 1 (°C)
- Temperatur 2 (°C)
- Avstånd 1 (mm)
- Avstånd 2 (mm)
- Nederbörd senaste 10 minuterna (mm)
- Ackumulerad nederbörd (mm)

4.4 Arkitektur & komponenter

Systemet är uppbyggt kring följande hårdvarukomponenter:

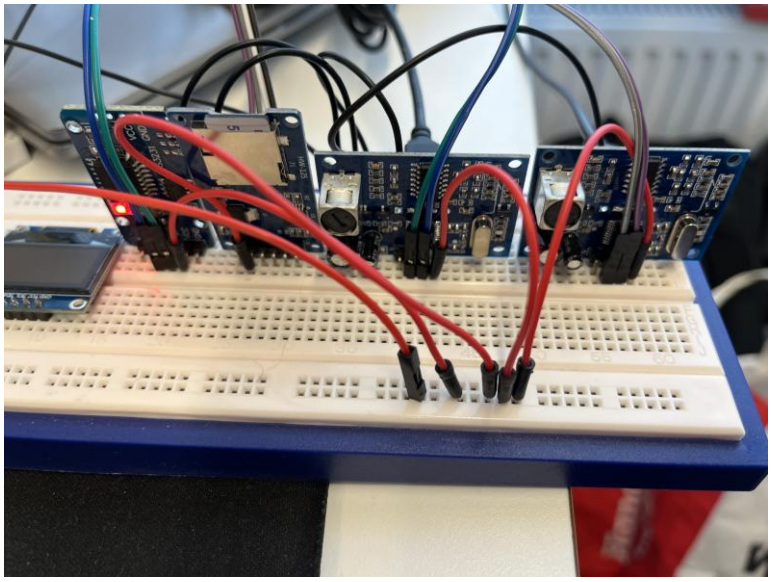
Komponent	Funktion
Arduino Uno	Mikrokontroller och nav för datainsamling
DS3231	Realtidsklocka med batteribackup
SD-kortmodul	Lagring av mätdata på microSD-kort
DS18B20 (2 st)	Digitala temperatursensorer
JSN-SR04T (2 st)	Ultraljudssensorer för avståndsmätning
Tipping bucket rain gauge	Registrerar nederbörd via impulser vid tipp

Strömförsörjning & kommunikation

- Samtliga sensorer drivs med **5V**, direkt från Arduino.
- Kommunikation sker via:
    - **I2C** för RTC-modulen (pins A4 och A5)
    - **SPI** för SD-kortmodulen (pins D10–D13)
    - **OneWire** för DS18B20 (pin D4)
    - Digitala in-/utgångar för regnmätare och ultraljud

Kalibrering

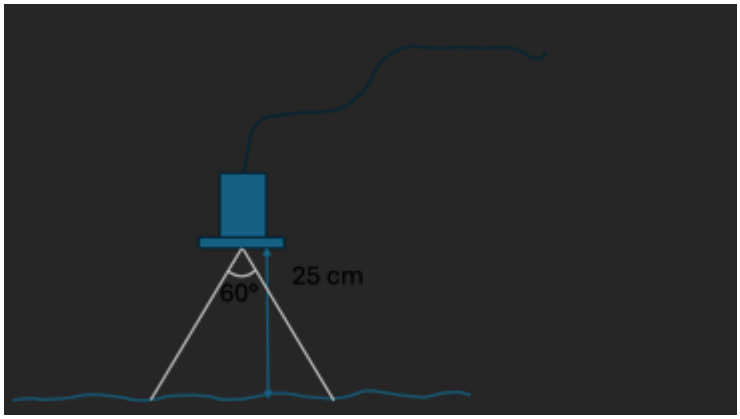
Regnmätaren är kalibrerad genom att en känd volym vatten (ml) hälls genom mätaren, och antalet tipp registreras. Genom att relatera den totala volymen till uppsamlingsytan beräknas en faktor i **mm per tipp**, vilken används i systemets beräkningar.



Figur 9: Koppling till mikrokontrollen Arduino UNO.

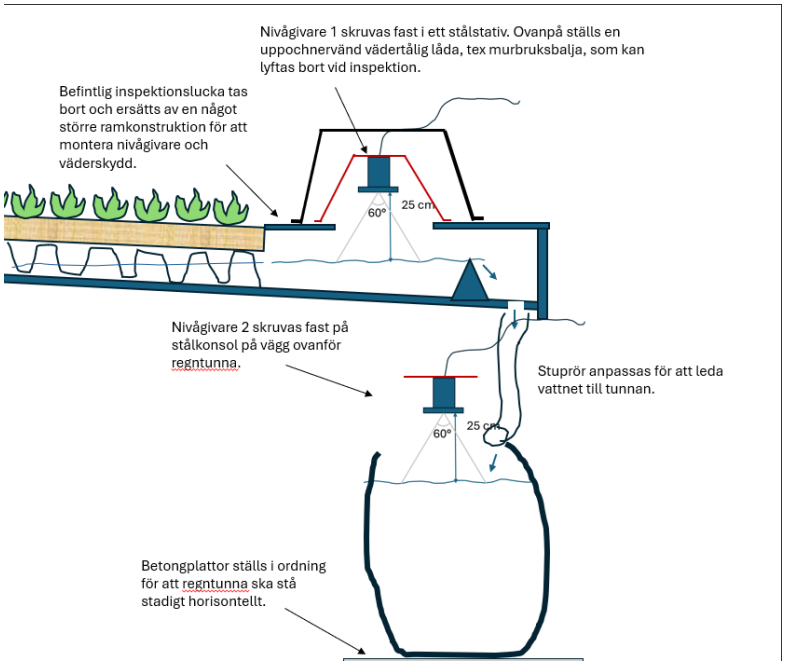
4.5 Utförande

För att mäta temperaturen både i omgivningen och i takkonstruktionen placerades en temperaturmätare utanför takkonstruktionen samt en mellan plattorna under det blågröna taket. Mätningarna registrerades genom programmering av mikrokontrollern, som utförde mätningar under perioden 4 mars till den 5 maj.



Figur 10: Bild visar en skiss över en nivågivare.

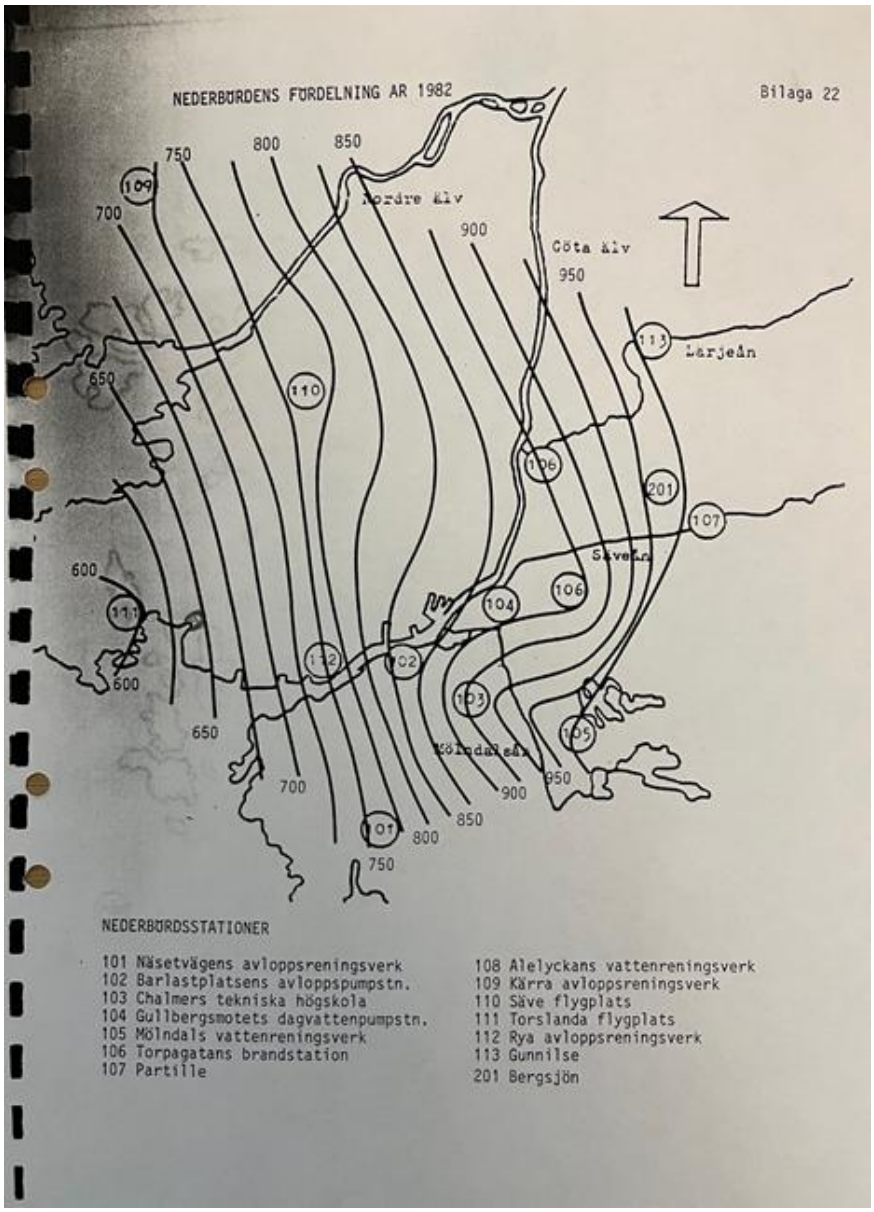
För att mäta vattennivån installerades två nivågivare. Den första skruvades fast i en hink, som sedan täcktes med en ytterligare hink för att skydda mot väder och vind. Den andra nivågivaren monterades på ett plank, vilket fästes ovanpå en regntunna. Ett stuprör anpassades och omplacerades för att leda vatten från taket ner i tunnan. Se figur 11 för en mer detaljerad beskrivning av installationerna. Även dessa registrerades med hjälp av Arduino UNO.



Figur 11: Skiss över placering och funktion av två nivågivare i takkonstruktionen

Till sist monterades en regnmätare på taket för att uppskatta mängden nederbörd. Regnmätaren placerades på en öppen yta av taket för att få en så representativ mätning som möjligt. Den registrerade mängden nederbörd genom att samla upp och mäta vattnet över en bestämd tidsperiod. Uppgifterna lagrades och analyserades med hjälp av Arduino UNO, se figur 9, vilket möjliggjorde en jämförelse mellan nederbörden och förändringar i vattennivån i regntunnan. Se figur 11 för en mer detaljerad beskrivning av mätutrustningen och dess placering.

SMHI:s väderrapporter har granskats under arbetets gång som ett komplement till de egna mätningarna för att jämföra och validera resultaten.



Figur 12: Nederbörden i området kring Guldheden, Göteborg 1982.

På figur 12 så ser vi olika nederbördsstationer i området, där Guldheden Göteborg har en uppskattad nederbörd på cirka 900 mm regn per år. Denna karta ger en uppskattning på hur mycket regn som kom 1982 och ger en bra grund i att förstå förutsättningarna för området.

4.6 Beräkningar

För att få en uppskattning på takets isolerande förmåga så utfördes beräkningar.

För den isolerande effekten så användes formeln:

$q=U * A * \Delta T$

Där:

q = värmeflöde (W)

U = U-värde ($W/m^2 \cdot K$)

A = Area, i detta fall av taket (m^2)

ΔT = temperaturskillnad inne/ute (°C)

$q=U * A * \Delta T = 0,10*18,5*3 = 5,55$

Där U värde är taget ifrån PAROC TURFs torvtak, se figur 13.

Arean har uppskattats till ett värde på 18,5m^2.

Temperaturskillnad utanpå och inuti taket har uppskattats till 3 (°C).

Isoleringstjocklek	U-värde, W/m^2K
190 mm	0,18
270 mm	0,13
360 mm	0,10

U-värden är beräknade med λ-design.

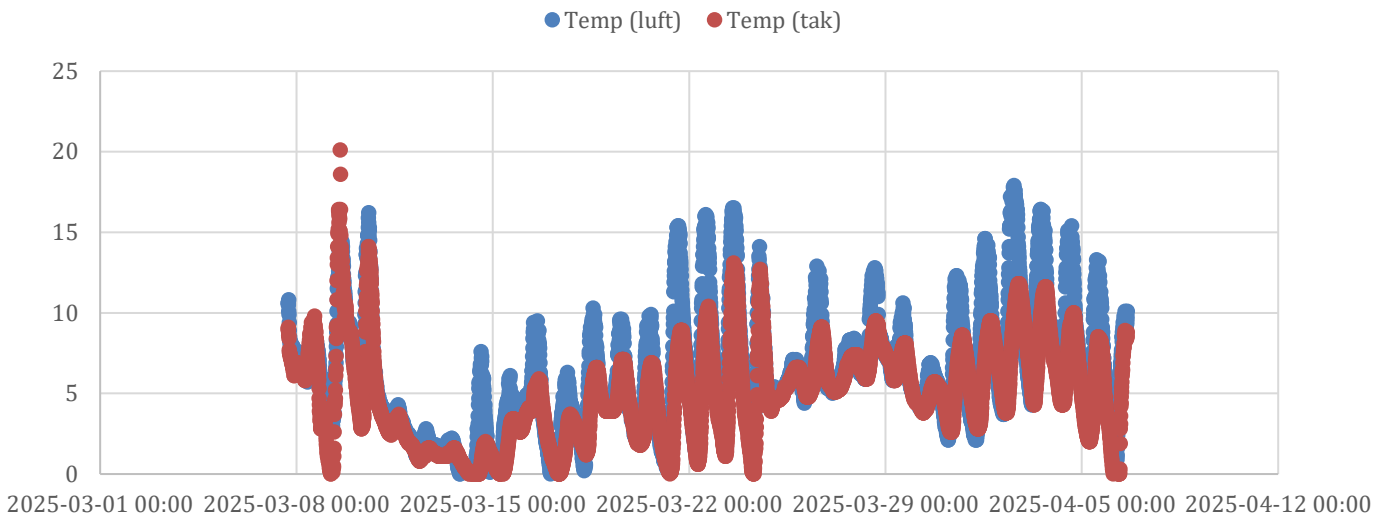
Tabell 1: Bild visar U-värde för olika isoleringstjocklek för torvtak, (Paroc, n.d.).

Olika isolerings tjocklek ger olika resultat. I denna studie har takets isoleringstjocklek upskattat till 360mm, därav ett U-värde har valts till 0,10 ($W/m^2 \cdot K$).

5.Resultat

I detta kapitel redovisas de resultat som erhölls från mätningarna och observationerna på det blågröna taket i Guldheden, Göteborg. Resultaten presenteras i form av uppmätta temperaturer, nederbördsmängder och variationer i vattennivå, samt analyser av hur dessa parametrar samverkar i praktiken för att bedöma takets förmåga att hantera dagvatten. Mätningarna genomfördes mellan den 4 mars och den 5 maj, och kompletterades med data från SMHI för att säkerställa tillförlitlighet och jämförelsebarhet.

4.1 Temperaturvariationer



Figur 13: Tabell visar tempgivare 1(luft), samt tempgivare 2 (tak), temperatur under perioden 7 mars till 6 april.

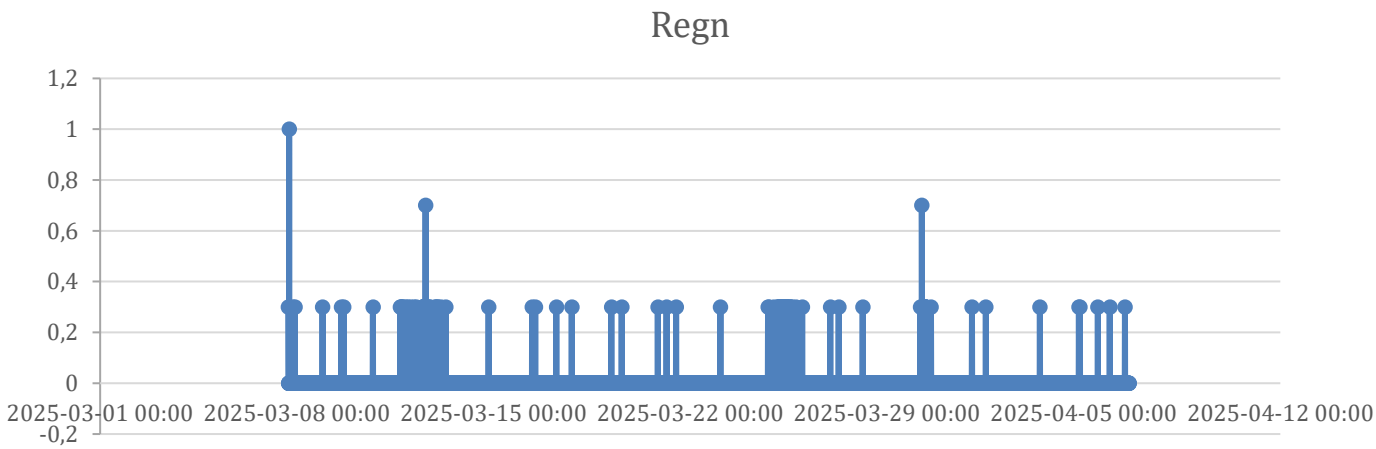
Två temperatursensorer registrerade temperaturdata kontinuerligt under mätperioden en utomhus, och en inuti takkonstruktionen, se tabell 1. Resultaten visar att den inbyggda sensorens mätvärden generellt låg 2–4 °C lägre än den omgivande temperaturen under dagtid, vilket tyder på en viss isolerande effekt av det blågröna taket. Under natten var temperaturskillnaderna mindre markanta, vilket tyder på att takets massa och fuktighet också spelar en roll i dess termiska kapacitet.

För att kvantifiera detta jämfördes takets isolerande förmåga med andra vanliga takmaterial:

Resultatet för blågröna takets isolerade förmåga eller värmeförlust uppskattades till 5,55 (W). Detta kan jämföras med en nybyggnation enligt moderna byggnormer, där dess U-värde hade uppskattats till 0,15 (W/m²·K) och en värmeförlust på 8,33 (W), Rockwool (n.d.).

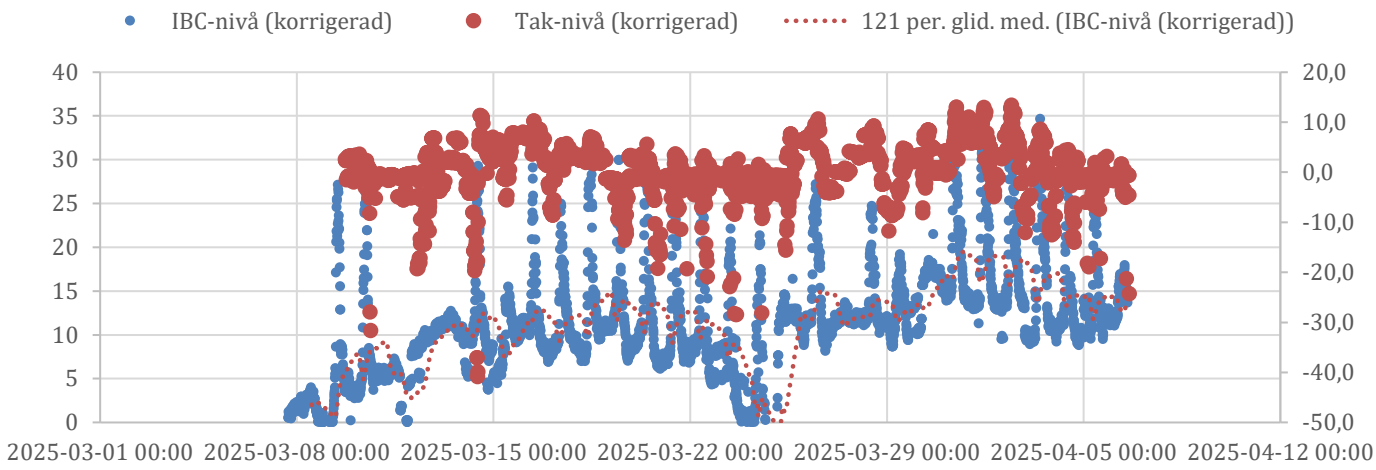
Enligt SMHI så har det ackumulerats en månadsmedeltemperatur på 5,5 °C under mars månad och 10 °C under april månad.

5.3 Nederbörd och vattennivåer



Figur 14: Tabell visar regnmätarens resultat i mm under perioden 7 mars till 6 april.

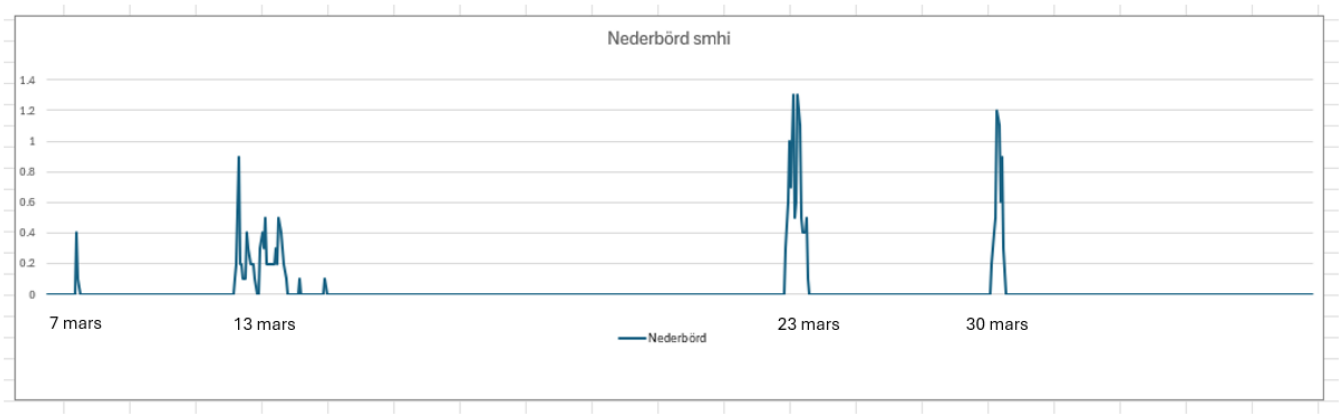
Tipping bucket-regnmätaren registrerade flera nederbördstillfällen under mätperioden, se tabell 2. De mest intensiva regnen noterades den 7 mars och 30 mars, med totalt 1 mm respektive 0,7 mm nederbörd på dessa dagar. Samtidigt registrerades nivåhöjningar i regntunnan, vilket visar att systemet kunde fånga upp en betydande andel av nederbörden.



Figur 15: Tabell visar nivågivarens resultat på taket i cm, respektive IBC tank, 7 mars till 6 april.

I tabell 3 ser vi nivåsensorernas resultat. Nivåsensorerna visade en tydlig ökning i vattennivå under och efter nederbörd, följt av gradvis minskning, vilket indikerar att det blågröna takets fördröjningseffekt fungerade som förväntat.

SMHI:s data för nederbörd i Göteborg har också jämförts med regnmätaren. Stationen som valts är Göteborg A som ligger vid Olskroken med id 71420, se tabell 4 för SMHI:s data.



Figur 16: Tabell visar SMHI:s nederbörd i mm i området Göteborg under 7 mars till 6 april.

SMHI:s tabell visar oss dem mest intensiva perionerna vid regn, där 23 mars och 30 mars samt 13 mars har genererat mest nederbörd.

5.4 Ackumulerad nederbörd och respons

Enligt SMHI:s har det ackumulerats en nederbörd på 23 mm under hela Mars månad. SMHI har tagit fram ett medelvärde för nederbörden under varje mars månad mellan åren 1991–2020 och det ligger på 54 mm.

Under april månad har det ackumulerats ett nederbördsvärde på 9 mm och ett medelvärde för åren mellan 1991–2020 ligger på 51 mm.
Jämförs de aktuella ackumulerade värdena under mars-april månad i år jämfört med medelvärden för åren 1991–2020 visar det en betydligt mindre nederbörd i år jämfört med tidigare år.

6.Diskussion

I detta kapitel diskuteras de resultat som framkommit från mätningarna på det blågröna taket i Guldheden. Syftet är att tolka och sätta resultaten i ett större sammanhang, samt relatera dem till projektets mål om effektiv dagvattenhantering.

6.1 Temperaturvariationer

Resultatet ifrån temperaturmätarna visar att den inbyggda sensorernas mätvärden generellt gav en temperatur cirka 2-4 grader lägre än omgivningens utetemperatur. Detta tyder på att taket ger en isolerande effekt.

Under natten var temperaturskillnaden mindre markant, vilket kan bero på att den termiska massan och fuktinnehållet i substratet då bidrar till att hålla en mer stabil temperatur. Denna egenskap är särskilt intressant i ett förändrat klimat med ökade temperaturvariationer, då byggnader med blågröna tak potentiellt kan bidra till minskad energiförbrukning för uppvärmning och kylning.

Att värmeförlusten genom taket uppmättes till 5,55 W jämfört med 8,33 W i ett konventionellt takmaterial enligt Rockwool (n.d.) tyder på att blågröna tak erbjuder konkurrenskraftiga isoleringsegenskaper, även om U-värdet i detta fall inte direkt kunde kvantifieras enligt standardiserade byggnormer. Detta visar på behovet av fler studier som jämför olika gröna takkonstruktioners isolerande prestanda med traditionella lösningar.

6.2 Nederbörd och vattennivåer

Mätningarna av nederbörd med hjälp av tipping bucket-regnmätaren visar flera tillfällen med nederbörd under perioden, även om mängderna varit relativt små. De mest intensiva regnen registrerades den 7 och 30 mars med endast 1 mm respektive 0,7 mm nederbörd. Jämförelsen med SMHI:s data från stationen Göteborg A ger en viss validering åt våra mätningar, även om vissa avvikelser mellan stationens och regnmätarens registreringar förekom. Dessa skillnader kan delvis förklaras av mikroklimatiska variationer och att regn kan vara lokalt begränsat, samt regnmätaren och systemets precision.

Nivåsensorerna visade en ökning i vattennivå under och efter nederbörd, följt av gradvis minskning, vilket indikerar att det blågröna takets fördröjningseffekt fungerade som förväntat. En aspekt som bör beaktas i tolkningen av vattennivådata är att de nivåsensorer som använts i studien är baserade på ultraljudsteknik. Dessa sensorer fungerar genom att sända ut ultraljudspulser och mäta tiden det tar för ekot

att återvända från vattenytan. Ljudhastigheten i luft påverkas av temperaturen. Detta innebär att mätningarna kan variera i takt med temperaturökningar och temperatursänkningar i omgivningen.
Vid högre temperaturer rör sig ljud snabbare, vilket kan leda till att sensorn underskattar avståndet till vattenytan, och därmed rapporterar en något högre vattennivå än verkligheten. Vid lägre temperaturer sker motsatt effekt, med risk för överskattning av avståndet och därmed en lägre rapporterad vattennivå.
För att förbättra datans noggrannhet kan framtida studier använda sensorer med inbyggd temperaturkompensation eller komplettera med externa temperaturdata för kalibrering. Det skulle minska osäkerheten i mätningarna och förbättra precisionen i analysen av takets vattenhanteringsförmåga.

6.3 Begränsningar och förbättringsförslag

En uppenbar begränsning i studien är den korta mätperioden, endast cirka två månader under vårsäsongen. Detta innebär att viktiga säsongsvariationer, såsom kraftigare sommarregn eller vinterförhållanden, inte kunnat analyseras. Tekniska problem med loggning av data med fältmätningssystem har också lett till en kortare period av värden och resultat. För att uppnå en mer representativ bild av takets funktionalitet bör framtida studier sträcka sig över ett helt år eller mer.

Under denna vårsäsong ackumulerades en nederbörd på 23 mm under mars månad och endast 9 mm under april månad. Detta är avsevärt lägre än de långsiktiga medelvärdena enligt SMHI:s statistik (54 mm i mars och 51 mm i april under perioden 1991–2020). Den begränsade nederbörden innebär att testperioden inte gav möjlighet att observera systemets respons under mer extrema väderhändelser eller vid längre regnperioder. Därmed kan systemets maximala kapacitet och funktion under belastning inte fullt ut bedömas.

Förbättringsförslag till denna studie skulle vara genomförandet över en längre period, med mer sensorer för att ytterligare generera mer väderdata för taket. Detta skulle ge en bättre helhetsbild över takets kapacitet.

6.4 Övergripande reflektioner

Denna vårsäsong har genererat mycket lite nederbörd, vilket inneburit en begränsad test av takets förmåga att hantera stora mängder dagvatten. Trots detta visar resultaten att det blågröna taket har fungerat enligt förväntan:

temperaturmätningarna indikerar en isolerande effekt, och vattennivåmätningarna visar en tydlig fördröjning och gradvis avrinning efter regn. Detta tyder på att systemet i någon mån bidrar till utjämning av flöden vid nederbörd.

Den låga nederbörden kan också tolkas som ett test av takets funktion under torra förhållanden, där möjlig isolering och fukthållande förmåga är viktiga. Detta är särskilt relevant i ett förändrat klimat där längre torrperioder kan bli vanligare. Sammanfattningsvis visar de insamlade data att det blågröna taket har potential att bidra till hållbar dagvattenhantering i urban miljö, även om vidare studier under olika klimatförhållanden är nödvändiga för att dra mer generella slutsatser. Projektet har även visat vikten av kontinuerlig mätning och dokumentation för att kunna utvärdera effekter och förbättringsmöjligheter

7.Slutsatser

Detta examensarbete har undersökt funktion, fördelar och begränsningar med blågröna tak i urban miljö, med särskilt fokus på dagvattenhantering och klimatanpassning. Studien har genomförts genom en kombination av litteraturstudie och en fallstudie på ett blågrönt tak i Guldheden, Göteborg. Arbetet syftade till att analysera hur blågröna tak kan bidra till en mer hållbar stadsutveckling, särskilt genom att hantera regnvatten, minska värmestress och främja biologisk mångfald.
Fallstudien visade att blågröna tak har en tydlig förmåga att fördröja och magasinera regnvatten. Detta är värdefullt för att minska belastningen på stadens dagvattensystem och därmed minska risken för översvämningar.
Temperaturmätningarna visade att takkonstruktionen även har en isolerande effekt, vilket kan bidra till minskad energianvändning i byggnader. Samtidigt bidrar växtligheten till att skapa livsmiljöer för pollinatörer och förbättrar stadens estetiska och ekologiska värde.
Trots de lovande resultaten visar studien också på vissa begränsningar. Den korta mätperioden och den ovanligt torra vårsäsongen gav inte möjlighet att utvärdera systemets prestanda under extrema nederbördssituationer. För att få en mer komplett bild av takets långsiktiga effektivitet rekommenderas att liknande mätningar genomförs under ett helt år, och helst på flera tak i olika klimatregioner. Det framgår även att tekniska och ekonomiska hinder samt låg kunskapsnivå hos fastighetsägare och kommuner kan försvåra implementeringen av blågröna tak i större skala.
Sammanfattningsvis visar studien att blågröna tak är en lovande och multifunktionell lösning för framtidens hållbara städer. De erbjuder tekniska fördelar för dagvattenhantering, bidrar till energieffektivitet och ökad biologisk mångfald, samtidigt som de förbättrar stadsmiljön. För att realisera denna potential i praktiken krävs dock ökad kunskap, samverkan mellan aktörer och långsiktiga satsningar på integrering i stadsplanering.

Referenser:

Globala målen. (u,å.). *Om Globala målen*. Hämtad 20 februari 2025, från https://globalamalen.se/om-globala-malen/

Naturvårdsverket. (u.å.). *Därför blir det varmare*. Naturvårdsverket. Hämtad 19 februari 2025, från https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/darfor-blir-det-varmare/

Naturvårdsverket. (u,å.). *Effekter i Sverige*. Hämtad 20 februari 2025, från https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/klimatet-i-framtiden/effekter-i-sverige/

United Nations. (2015). *The 2030 agenda for sustainable development*. United Nations. Hämtad 1 Mars, från https://sdgs.un.org/goals

SMHI. (2023). *Klimatförändringar i Sverige*. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. Hämtad 1 Mars, från https://www.smhi.se/

Naturvårdsverket. (u.å.). *Dagvattenhanteringen idag*. Hämtad 26 Mars, från https://www.naturvardsverket.se/contentassets/34e231a6ea91468ba0168816d8e3abd1/bilaga-1-dagvattenhanteringen-idag.pdf

Vattenmydigheterna. (u.å.). *EU: s vattendirektiv*. Hämtad 26 Mars 2025, från https://www.vattenmyndigheterna.se/vattenforvaltning/eus-vattendirektiv.html

Länsstyrelsen i Jönköpings län. (2015). *Dagvatten i ett förändrat klimat*. Hämtad 26 Mars 2025, från https://www.lansstyrelsen.se/download/18.1b1d393819324610c374ad9c/1732520494743/Dagvatten%20i%20ett%20f%C3%B6r%C3%A4ndrat%20klimat.pdf

Naturvårdsverket. (2017). *Analys av kunskapsläget för dagvattenproblematiken*. Hämtad 26 Mars 2025, från https://www.naturvardsverket.se/499c59/globalassets/forskning/analys-kunskapslaget-dagvattenproblematiken.pdf

Vattenmyndigheterna. (u.å.). Vattenförvaltning i Sverige. Hämtad 4 April 2025, från https://www.vattenmyndigheterna.se/vattenforvaltning/vattenforvaltning-i-sverige.html

Livsmedelverket. (2024). *Kemisk förorening*. Hämtad 5 Maj 2025, från https://www.livsmedelsverket.se/beredskap/beredskap-inom-dricksvattenforsorjning/handbocker-i-beredskapsarbete-for-dricksvatten/handbok-for-

klimatanpassning_dricksvattenproduktion/konsekvenser_av_ett_forandrat_klimat/kemisk-fororening

SMHI. (2024). *Års- och månadsstatistik - tabeller för temperatur, vind, nederbörd och solskenstid*. Hämtad 13 Maj 2025, från Års- och månadsstatistik — SMHI

Folkhälsomyndigheten. (2024). Hälsokonsekvenser av klimatförändring i Sverige. Hämtad 16 Maj 2025, från https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/d12dc30a4b6b47549b018b53adf2b11a/halsokonsekvenser-klimatforandring-sverige.pdf

Malmö Universitet. (2020). *Gröna taks potential*. Hämtad 16 Maj, från

Sveriges riksdag. (u.å). *Miljöbalk 1998:808*. Hämtad 18 Maj, från https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808

Boverket. (2021). *Gröna tak i klimatanpassning*. Hämtad 18 Maj, från https://www.boverket.se

SMHI. (2023). *Extremregn och dagvattenlösningar*. Hämtad 18 Maj, från https://www.smhi.se

IVL. (2022). *Teknik för blågröna tak*. Hämtad 18 Maj, från https://www.ivl.se

Svenskt Vatten. (2023). *Vägar till hållbara vattentjänster – dessa förändringar innebär propositionen*. Hämtad 18 Maj, från https://www.svensktvatten.se/om-oss/nyheter-lista/vagar-till-hallbara-vattentjanster--dessa-forandringar-innebar-propositionen

Trädkontoret. (u,å.). *Dagvatten-översvämning-gångtunnel* [Fotografi]. Hämtad 19 Maj, från https://tradkontoret.se/

Greenroof.se. (u,å.). *Grönt tak – exempelbild* [Fotografi]. Hämtad 20 Maj, från https://greenroof.se/

Göteborgs stad. (u,å.). *Dagvatten* - [Fotografi]. Hämtad 20 Maj, från https://goteborg.se/wps/portal/start/bygga-bo-och-leva-hallbart/vatten-och-avlopp/dagvatten-och-skyfall/detta-ar-dagvatten-och-skyfall

ScienceDirect. (u,å.). *Modern development of an Adaptive Non-Intrusive Appliance Load Monitoring system in electricity energy conservation.* Hämtad 20 Maj, från https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.027

Karlsson & Söderberg. (u,å.). *Blågröna tak*. Hämtad 21 Maj, från https://karlsson-soderberg.se/

Paroc. (u,å.). *Arbetsanvisning: Isolera torvtak med PAROC TURF*. Hämtad 23 Maj, från https://www.paroc.com/sv-se/tools-documents/installation/paroc-turfParoc+1Paroc+1

Rockwool. (u,å.). *Isolering av plåttak*. Hämtad 24 Maj, från https://www.rockwool.com/se/produkter-och-konstruktioner/takisolering/laglutande-tak/isolering-av-plaattak/

ScienceDirect. (u,å.). Blue-green roofs with forecast-based operation to reduce the impact of weather extremes. Hämtad 25 Maj, från https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721018120

IwaPublishing. (2021). *The potential of Blue-Green infrastructure as a climate change adaptation strategy: a systematic literature review*. Hämtad 26 Maj, från https://iwaponline.com/bgs/article/3/1/223/85658/The-potential-of-Blue-Green-infrastructure-as-a

Arduinokod

```
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
```

```
#include "RTClib.h"

// RTC Module
RTC_DS3231 rtc;

// SD Card Module
#define SD_CS 10  // Chip Select pin for SD card

// Ultrasonic Sensors
#define TRIG1 7
#define ECHO1 6
#define TRIG2 9
#define ECHO2 8

// DS18B20 Temperature Sensors
#define ONE_WIRE_BUS 4
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// Rain Gauge
#define RAIN_SENSOR_PIN 2
volatile int rainCount = 0;
volatile int rainCountLast10Min = 0;
bool lastState = HIGH;
unsigned long lastMeasurement = 0;
const unsigned long measurementInterval = 600000;  // 10 minutes

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    rtc.begin();
    if (rtc.lostPower()) {
        Serial.println("RTC lost power! Setting to compile time...");
        Serial.print("Compiling date and time: ");
        Serial.print(__DATE__);
        Serial.print(" ");
        Serial.println(__TIME__);
        rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
    }

    SD.begin(SD_CS);

    pinMode(TRIG1, OUTPUT);
    pinMode(ECHO1, INPUT);
    pinMode(TRIG2, OUTPUT);
    pinMode(ECHO2, INPUT);
    pinMode(RAIN_SENSOR_PIN, INPUT_PULLUP);

    sensors.begin();

    Serial.println("Initialized OK!");
}

void loop() {
    // Continuously Monitor the Rain Gauge
    bool currentState = digitalRead(RAIN_SENSOR_PIN);
    if (lastState == HIGH && currentState == LOW) {
        rainCount++;
        rainCountLast10Min++;
        Serial.println("Rain tip detected!");
    }
    lastState = currentState;
```

```
    // Log Data Every 10 Minutes
    if (millis() - lastMeasurement >= measurementInterval) {
        lastMeasurement = millis();

        DateTime now = rtc.now();
        char timestamp[20];
        snprintf(timestamp, sizeof(timestamp), "%04d-%02d-%02d
%02d:%02d:%02d",
                 now.year(), now.month(), now.day(), now.hour(),
now.minute(), now.second());

        int distance1 = (int) measureDistance(TRIG1, ECHO1);
        int distance2 = (int) measureDistance(TRIG2, ECHO2);

        sensors.requestTemperatures();
        float temp1 = round(sensors.getTempCByIndex(0) * 10.0) / 10.0;
        float temp2 = round(sensors.getTempCByIndex(1) * 10.0) / 10.0;

        float rain_mm = rainCount * 0.3436;
        float rain_mm_last10min = rainCountLast10Min * 0.3436;

        // Print to Serial Monitor
        Serial.print(F("Timestamp: ")); Serial.println(timestamp);
        Serial.print(F("T1: ")); Serial.print(temp1);
Serial.println(F("C"));
        Serial.print(F("T2: ")); Serial.print(temp2);
Serial.println(F("C"));
        Serial.print(F("D1: ")); Serial.print(distance1);
Serial.println(F(" mm"));
        Serial.print(F("D2: ")); Serial.print(distance2);
Serial.println(F(" mm"));
        Serial.print(F("Total Rain: ")); Serial.print(rain_mm, 1);
Serial.println(F(" mm"));
        Serial.print(F("Rain in last 10 min: "));
Serial.print(rain_mm_last10min, 1); Serial.println(F(" mm"));
        Serial.println(F("------------------------"));

        // Save Data to SD Card
        File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
        if (dataFile) {
            dataFile.print(timestamp); dataFile.print(",");
            dataFile.print(distance1); dataFile.print(",");
            dataFile.print(distance2); dataFile.print(",");
            dataFile.print(temp1); dataFile.print(",");
            dataFile.print(temp2); dataFile.print(",");
            dataFile.print(rain_mm_last10min, 1); dataFile.print(",");
            dataFile.println(rain_mm, 1);
            rainCountLast10Min = 0;
            dataFile.close();
        }
    }
}

float measureDistance(int trigPin, int echoPin) {
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    long duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    return duration * 0.34 / 2;  // Convert to mm
```

}

INSTITUTIONEN FÖR
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se

CHALMERS