

Användning av riskbegreppet i en dagvattenkontext

En litteraturstudie om hur riskbegrepp används
vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten

VATTENFÖRSÖRJNINGS- OCH AVLOPPSTEKNIK | INSTITUTIONEN FÖR KEMITEKNIK, LTH | LUNDS UNIVERSITET
LINNEA KNUTSSON | EXAMENSARBETE 2023



Lunds tekniska högskola

Användning av riskbegreppet i en dagvattenkontext

En litteraturstudie om hur riskbegrepp används vid dimensionering av
ledningsnät för dagvatten

Linnea Knutsson 2023

VVAL01 – Kandidatarbete i vattenförsörjnings- och
avloppsteknik, 15 hp

Linnea Knutsson

VVAL01 Examensarbete för kandidatexamen 15 hp, Lunds universitet

Handledare: Salar Haghghatafshar, Institutionen för kemiteknik, LTH

Biträdande handledare: Sara Roth, Institutionen för kemiteknik, LTH

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

LTH, Lunds Tekniska Högskola

Lund 2023

Abstract

Climate change and urbanization is a threat for existing stormwater networks. Many stormwater networks are designed after historical rain data that will fail to predict future events due to large changes in rainfall patterns caused by climate change and urbanization. This may lead to insufficiencies in the hydraulic capacity of stormwater networks and an increased probability of stormwater network failure that will have devastating consequences for humans, infrastructure and the environment.

The aim of this study is to explore how risk considerations have been incorporated into the design of stormwater networks around the world. A document study was made to find information about the use of the risk concept and previous techniques to consider and reduce risks when designing stormwater networks. Furthermore, the study investigates the definition of risk and how to reduce risks in a stormwater context.

The findings indicate that many engineers and designers rely on historical data due to the lack of updated Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves. Updating IDF-curves takes time and can be expensive. Sometimes lack of data can even make it impossible. This highlights a challenge of and need for regular updates of data and IDF-curves to better represent current climate conditions. Furthermore, risk-based decision-making processes and different methods to reduce the consequences of floods are discussed. The conclusion underscores that there is no general method for considering risk when designing stormwater networks, different places need different methods. This study shows that there is a need of finding better ways to design sustainable stormwater networks that are safe to fail and provides insights that can guide future developments in stormwater networks.

Keywords: *risk, stormwater network, climate change, infrastructure capacity design, adaption strategy*

Populärvetenskaplig sammanfattning

I och med klimatförändringarna kommer våra samhällen att drabbas av större regn vilket kommer att öka kraven på de redan överbelastade spillvatten- och dagvattensystemen. Enligt dagens deterministiska planeringspraxis dimensioneras nya lösningar till att ta hand om den ökande mängden vatten vilket skapar en accelererande kostnadsökning för städerna. Samtidigt saknas oftast ett helhetsgrepp för hela staden och lösningar prioriteras efter vart det är mest akuta problem i nuläget. I framtiden kommer vi att behöva ändra principerna för dimensionering där metoden innefattar att lösningar placeras på platser där de gör mest samhällsekonomisk nytta. Det kommer att krävas en kombination av lösningar ovan och under jord.

Ett steg i att använda resurser effektivt är att undersöka begreppet risk, vilket beskriver en kombination av sannolikheten för att ett event ska inträffa och konsekvenserna om det sker. Begreppet används redan idag i många olika typer av infrastrukturprojekt, men inom VA-området är användningen hittills begränsad. För att kunna arbeta vidare med hur risk kan inkluderas vid arbete med ledningsnätet krävs en förståelse för hur riskbegreppet används idag inom planering av avlopps- och dagvattenledningsnät. Främst är det nederbörd som är den dominerande faktorn, men i kuststäder och städer i anslutning till naturliga vatten försvåras problematiken då olika lösningsmetoder kommer att behöva vägas mot varandra.

För att skapa en förståelse för hur riskbegreppet används idag i en dagvattenkontext och hur man har tagit hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten runt om i världen har en litteraturstudie gjorts. Studien visade att stort fokus ligger på att uppdatera regndata såsom IDF-kurvor för att lättare kunna planera och dimensionera ledningsnät för dagvatten utifrån dagens klimatläge. Många projektörer förlitar sig på historiska data vilket kan leda till felaktig dimensionering av ledningsnätet. Brist på uppdaterade IDF-kurvor gör att projektörer måste väga noggrannhet mot tillgänglighet av data vid bedömning av risker.

Studiens resultat visar att det inte finns någon generell metod för att ta hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten och att en metod som funkar för en plats inte behöver fungera för en annan. Metoden behöver situationanpassas. Resultatet förväntas kunna användas för vidare forskning kring ämnet för att finna en lämplig metod för att ta hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten.

Innehållsförteckning

Abstract	2
Populärvetenskaplig sammanfattning.....	3
1 Inledning.....	5
1.1 Syfte	6
1.2 Frågeställningar	6
1.3 Avgränsningar	6
2 Teori	7
2.1 Klimatförändringar och risk	7
2.1.1 Flood risk management	7
2.1.2 Riskbegreppet i en nationell VA-kontext.....	8
2.2 Utmaningar vid planering av dagvattensystem	8
2.2.1 Historisk hantering av dagvatten.....	8
2.2.2 Hållbar dagvattenhantering	9
2.2.3 Hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten.....	9
3 Metod	11
3.1 Litteraturstudie	11
4 Resultat.....	12
4.1 Hur definieras begreppet risk	13
4.2 Hur man har tagit hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten i olika delar av världen	18
4.2.1 Uppdaterade IDF-kurvor	18
4.2.2 Riskbaserade beslut och tillvägagångssätt	19
4.3 Riskreduktion	22
5 Diskussion	26
5.1 Metodkritisk diskussion	29
6 Avslutning	30
6.1 Slutsats	30
6.2 Förslag för vidare studier	31
Tack.....	32
Bilagor.....	33
Bilaga 1 – sökmatiser.....	33
Bilaga 2 – utvalda artiklar	36
Referenser.....	37

1 Inledning

I och med klimatförändringarna kommer våra samhällen att drabbas av allt kraftigare regn vilket kommer att öka kraven på de redan överbelastade spill- och dagvattensystemen (Saldarriaga et al., 2020). Dagvattensystemen kommer att bli allt mer sårbara i takt med att regnmängderna ökar och med dagens dimensioner kommer ledningsnäten inte kunna stå emot mot dessa regnmängder (Altami & Salman, 2022). Ledningsnät för dagvatten är dimensionerade efter en nederbördsfördelning som hela tiden förändras i takt med klimatförändringarna. Om några år kommer inte de tidigare framtagna fördelningskurvorna vara tillräckliga och de förändringar som sker märks av genom översvämningar, skador på egendom och människors säkerhet (Moore et al., 2016). Det är därför av högsta vikt att se till så att dagvattensystemen är i gott skick.

Enligt dagens deterministiska planeringspraxis dimensioneras nya lösningar till att ta hand om den ökande mängden vatten vilket skapar en accelererande kostnadsökning för städerna (Sayers et al., 2013). Samtidigt saknas oftast ett helhetsgrepp för hela staden och lösningar prioriteras efter vart det är mest akuta problem i nuläget (Zhou & Wu, 2023). I framtiden kommer vi att behöva ändra principerna för dimensionering där metoden innefattar att lösningar placeras på platser där de gör mest samhällsekonomisk nytta och det kommer att krävas en kombination av lösningar ovan och under jord (Axelsson et al., 2021).

Ett steg i att använda resurser effektivt är att undersöka begreppet risk, vilket beskriver en kombination av sannolikheten för att en händelse ska inträffa och konsekvenserna om det sker (Rezende et al., 2020). Väderrelaterade risker är en av komponenterna att ta hänsyn till vid planering för dagvattensystem. När befintliga dagvattensystem fylls över sin kapacitet leder det till översvämningar vilket utgör en risk för samhället. Risk beskrivs som ett centralt begrepp vid planering för översvämningsskydd och beslutsfattande under osäkra förhållanden (Galindo-Calderon et al., 2015). Begreppet används redan idag i många olika typer av infrastrukturprojekt, men inom VA-området är användningen hittills begränsad (SvensktVatten, 2019). Dåligt dimensionerade ledningsnät för dagvatten kan medföra en risk för människors liv och hälsa, miljön och byggd infrastruktur (Cai et al., 2021).

Infrastrukturen är särskilt utsatt för väderrelaterade risker, extrema väderförhållande kan leda till brister i infrastruktursystemet på två olika sätt; strukturellt och funktionellt. Strukturellt sätt kan infrastruktur falla till följd av underdimensionering, det vill säga för liten diameter på ledningarna. Funktionellt sätt kan delar av infrastrukturen bli obrukbara om driftförhållandena överskrids (Underwood et al., 2020). Översvämningarna kan även försvaga konstruktionen i broar och vägar samt öka risken för jordskred och laviner (Pudyastuti & Nugraha, 2017). Om broar, vägar och marken brister finns det stor risk att människor far illa. Utöver detta kan konkurrens mellan budande entreprenörer utgöra en risk för urbana dagvattensystem (Cai et al., 2021). För att vinna bud pressar entreprenörer ner priserna så lågt det går vilket leder till att kvaliteten på VA-systemen blir lidande. Statligt reglerad marknadskonkurrens är därför en viktig parameter för hållbar infrastruktur.

Att förebygga översvämningrisker med en hög återkomsttid, som innebär en låg sannolikhet för inträffande, är dyrt och medför även extra kostnader för underhåll och service. Att bygga ut ledningsnätet för att hantera framtida risker leder till frågan om hur stor sannolikheten är att översvämningen kommer att inträffa under byggnadens eller infrastrukturens livslängd och om det är värt att investera i en så lång återkomsttid. Återkomsttiden behöver balanseras mot

dagvattensystemets livslängd, investeringskostnaden och en rimligt accepterad risk. Att använda historiska regndata för att dimensionera dagvattensystem skapar en betydande risk för att systemet inte kommer att kunna uppfylla dimensioneringskraven under sin livstid på grund utav ändrade förutsättningar som en följd av klimatförändringarna. Samhällets gemensamma mål för framtiden är att förbättra prestanda, optimera materialanvändning och minimera kostnader samtidigt som motståndskraften mot översvämningsrisker ökar (Bamm et al., 2017).

För att kunna arbeta vidare med hur risk kan inkluderas vid arbete med ledningsnätet krävs en förståelse för hur riskbegreppet används idag inom planering av avlopps- och dagvattenledningsnät (Haghighatafshar et al., 2020). Framst är det nederbörd som är den dominerande faktorn, men i kuststäder och städer i anslutning till naturliga vatten försvåras problematiken då olika lösningsmetoder kommer att behöva vägas mot varandra (Almeida et al., 2020).

1.1 Syfte

Syftet med kandidatarbetet är att undersöka hur riskbegreppet används i en dagvattenkontext i olika delar av världen och vilka metoder som används för att ta hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten. Undersökningen förväntas mynna ut i en sammanställning över olika metoder för att hantera risk som kan användas för vidare forskning och på lång sikt bidra till framtagandet av applicerbara metoder för riskhantering i en global dagvattenkontext.

1.2 Frågeställningar

För att uppnå syftet med kandidatarbetet har följande frågeställningar formulerats:

- i. Hur definieras riskbegreppet i en dagvattenkontext?
- ii. Hur har man arbetat med att ta hänsyn till risker vid dimensionering av ledningsnät runt om i världen?
- iii. Hur kan man reducera risker?

1.3 Avgränsningar

Studiens frågeställningar har avgränsats till att endast undersöka riskbegreppet utifrån en VA-kontext med fokus på dagvattensystem. Studien begränsas till att inte undersöka tapp- och spillvattensystem. Vidare begränsas även studien till litteraturstudier och får således inte med andra aspekter av riskbegreppet mer än de vetenskapliga.

Studien fokuserar på hur klimatförändringar påverkar dimensionering av ledningsnät. Vidare skulle även andra parametrar så som urbanisering behöva undersökas.

2 Teori

2.1 Klimatförändringar och risk

Begreppet risk används i många olika sammanhang och variationer. Definitionen av risk skiljer sig åt men kan generellt sett sammanfattas som sannolikheten att en händelse inträffar multiplicerat med konsekvenserna som följer med händelsens inträffande (Berndtsson et al., 2019; Rezende et al., 2020). Ju större sannolikhet och allvarigare konsekvens desto större risk.

IPCC:s (Intergovernmental Panel on Climate Change) senaste rapport talar om att alla delar av den globala vattencykeln har påverkats av klimatförändringarna (Caretta et al., 2022). Klimatförändringarna antas ha stor inverkan på mängden nederbörd som faller och bidrar till översvämningar i urbana områden. Dock är det inte enbart nederbörd som bidrar till översvämningar utan även en rad andra faktorer. Urbanisering av städerna, det vill säga att allt fler människor flyttar från landsbygden in till städerna, ökad markanvändning och människors nya vanor har även en stor inverkan. Utifrån ett översvämningsperspektiv så utgör dessa faktorer tillsammans begreppet ”framtida risk” (Haghighatafshar et al., 2020). Studier kopplade till översvämningsfaktorer fokuserar mestadels på effekten av klimatförändringar och förändrad markanvändning. Få studier lyfter dimensionering av dagvattensystem som en bidragande faktor till översvämning (Hassan et al., 2022).

2.1.1 Flood risk management

Den ökande mängden översvämningar beror inte enbart på klimatförändringar och urbanisering. Dels så har dagvattensystemens kapacitet föråldrats, dels så har klimatförändringarna bidragit till ökade regnmängder och dels så har andelen hårda ytor i städer ökat vilket förhindrar vattnet från att tränga undan på ett naturligt sätt (Saldarriaga et al., 2020). Med översvämningarna följer stora risker för städerna då konsekvenserna kan vara förödande. För att hantera dessa risker krävs ett nytt angreppssätt som tar konsekvenserna i större beaktning. Begreppet *flood risk management* (hantering av översvämningsrisk) har anammats alltmer de senaste två decennierna och lett till en förändring av hur beslut fattas (Sayers et al., 2013). Idag belyses riskhantering som mer komplext än ett traditionellt tekniskt tillvägagångssätt. Riskhantering handlar om att ta risk i beaktning vid beslutsfattande. Beslutsprocessen bygger helt på avvägningar mellan olika alternativ som minskar riskerna under ett infrastruktursystems livscykel, vilka möjligheter som främjas och vilka resurser som krävs (Sayers et al., 2013). Idag vägs fördelar mot nackdelar och beslut tas utifrån det på ett annat sätt än vad som gjorts förut. Ett traditionellt tekniskt beslutsfattande fokuserade mest på kvantitet snarare än kvalitet och gestaltning. Utifrån ett tidigare översvämningsperspektiv ville man bli av med så mycket vatten som möjligt så snabbt som möjligt. Idag tar man mer hänsyn till de risker som en snabb avledning kan medföra. Till exempel kan en snabb avledning av dagvatten leda till att grundvattenytan kommer att sänkas i områden med sättningskänsliga jordarter. Detta kan medföra att det blir sättningar i bebyggelsen (SvensktVatten, 2019).

Traditionellt sett har fokus för översvämningshantering legat på att minska sannolikheten för översvämning genom olika strukturella skyddssystem (Sayers et al., 2013). Ett exempel på strukturellt skyddssystem är hamnen i Rotterdam. Där har man applicerat ett mer riskorienterat angreppssätt som tar hänsyn till potentiella konsekvenser av översvämningar i

staden. Genom ett omfattande projekt har man lyckats översvämningssäkra hela staden och tack vare det är hamnen idag en av de säkraste hamnarna i världen (Punt et al., 2022). Motsatsen till de strukturella skyddssystemen är de icke-strukturella åtgärder som kan antas för att minska sannolikheten för översvämning. Icke-strukturella åtgärder kan innebära att dels minska människors, ekonomins och ekosystemens exponering mot översvämningar genom exempelvis effektivare planeringskontroll, dels minska sårbarheten hos de som utsätts för översvämningar genom exempelvis bättre evakueringsplanering. Dessa åtgärder har inte varit lika accepterade tidigare men börjar få större acceptans och ses allt mer som en viktig del i städers riskhantering (Sayers et al., 2013).

2.1.2 Riskbegreppet i en nationell VA-kontext

I Sverige är det sedan årsskiftet 2019 krav på att risker och konsekvenser, till följd av översvämningar och andra klimatrelaterade naturfenomen, ska synliggöras i kommunernas översiktsplaner (Lindström, 2020). Här talar man framför allt om risken för skador på den byggda miljön. Genom att ta fram en VA-plan kan VA-planeringen föras in i översiktsplanen på ett strukturerat sätt. En VA-plan sammanfattar de åtgärder som krävs för att VA-utbyggnad ska möta de krav som ställs i Miljöbalken och samtidigt kommunens framtida planer för bebyggelse. VA-planen lyfter bland annat hur dagvatten ska hanteras utifrån anslutningsmöjligheter och fördröjningsbehov med mera (Lindström, 2020).

Likaså ska kommunerna, enligt Plan- och bygglagen, tala om vilken risk man är beredd att ta vid planering för skyfall (Lindström, 2020). En skyfallskartering visar var risk för översvämning finns och används som underlag för riskbedömning. Det krävs gemensamma beslut av många aktörer i samhället kring vilka åtgärder som behövs för att förebygga skador och andra konsekvenser orsakade av skyfall. Dagvattenhantering som VA-organisationer ansvarar för kan mildra konsekvenserna av skyfall (Lindström, 2020).

2.2 Utmaningar vid planering av dagvattensystem

2.2.1 Historisk hantering av dagvatten

Dagvattenhantering har sett olika ut genom historien. På 1700-talet grävde man diken och nedgrävda ledningar för dagvattnet som leddes ut till närmaste vattendrag, recipienten. Under början av 1900-talet, när utbyggnad av spillvattenledningar hade tagit fart, började man leda ner dagvattnet till spillvattenledningen, så kallad kombinerad ledning. Vattnet leddes fortfarande ut i recipienten och renades inte, det var först på mitten av 1900-talet som utbyggnaden av reningsverk ökade i Sverige och avloppsvattnet började ledas hit. Vid höga vattenflöden uppstod dock problem med de kombinerade ledningarna då ledningskapaciteten inte räckte till vilket ledde till översvämningar i källare och på gator. För att undvika översvämningar i de centrala delarna av staden skapades bräddavlopp som kunde avlasta ledningsnätet. På 1950-talet infördes istället duplikatsystemet, ett separat ledningssystem för dagvatten. Spillvattnet leddes fortfarande till reningsverket men dagvattnet kunde nu ledas rakt ut i recipienten och på så vis undveks även överbelastning av reningsverkets kapacitet. (Lindström, 2020)

2.2.2 Hållbar dagvattenhantering

Ett sätt att hantera risken för skador som översvämningar kan föra med sig är så kallad ”hållbar dagvattenhantering”, *sustainable urban drainage system* (SUDS). Begreppet används för dagvattenlösningar som är synliga och inte nedgrävda ledningar, till exempel genom infiltration i mark, via diken och genom uppsamling i dammar. Tanken med hållbar dagvattenhantering är att dessa dagvattenlösningar ska uppfattas som naturliga och smälta in i stadsbilden (Lindström, 2020). Det har blivit alltmer accepterat bland ingenjörer och stadsplanerare att använda sig av ”grön infrastruktur”, såsom gröna tak och nedsänkta grönområden, för dagvattenhantering. Dessa tekniker går under begreppet *low impact development* (LID) och har som syfte att kontrollera dagvattenflödet genom lagring och dränering vid extremväder (Li et al., 2019).

Dagvattenflödet varierar okontrollerat vilket gör dimensioneringen av ledningsnät komplicerad. För att minska de stora variationerna är fördröjningsmagasin en lösning. Här kan vatten samlas upp för att sedan släppas ut på ledningsnätet efterhand som regnet upphör. En annan lösning för att minska dagvattenmängderna är LOD – lokalt omhändertagande av dagvatten. Det innebär att dagvatten ska hanteras där det regnar, genom exempelvis infiltration, istället för att ledas vidare (Lindström, 2020).

2.2.3 Hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten

Dimensionering av VA-system regleras av LAV – Lagen om allmänna vattentjänster (2006:412), och PBL – Plan och Bygglagen (2010:900) (Lindström, 2020). Exempelvis PBL 2 kap 5 §:

”Vid planläggning och i ärenden om bygglov eller förhandsbesked enligt denna lag ska bebyggelse och byggnadsverk lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till ... 5. risken för olyckor, översvämning och erosion” (Regeringskansliet, 2010).

I Sverige ska dagvattensystem enligt dimensioneringsstandarden P110 (SvensktVatten, 2019) utformas med trög öppen hantering och markförlagda rörsystem. De allmänna avloppssystemen dimensioneras för regn med en viss återkomsttid där det finns vissa minimikrav att förhålla sig till (SvensktVatten, 2019). Ett vanligt verktyg vid planering av dagvatten är IDF-kurvor (*intensity, duration och frequency*) som utvärderar sambandet mellan nederbördens intensitet, varaktighet och återkomsttid.

Enligt P110 (SvensktVatten, 2019) ställs följande funktionskrav på dagvattensystem:

- *”Avvattning av hårdgjorda ytor och andra ytor skall ske så att risken för besvärande dämning minimeras*
- *Dagvattnet skall så långt som möjligt fördröjas för att reducera toppflöden och utsläpp av föroreningar*
- *Anläggningar för fördröjning skall planeras på såväl kvartersmark som allmän platsmark när behov finns ur översvämningssperspektiv*
- *Dagvatten skall renas beroende på bedömningar av olika recipienters känslighet*
- *Extrema skyfall skall kunna hanteras i ytliga system utan att skador uppstår på anläggningar och byggnader.*

För att uppnå funktionskraven dimensioneras dagvattensystem i tre nivåer:

1. *Återkomsttid för fylld rörledning (hjässdimensionering)*
2. *Dagvatten når markytan (markdimensionering)*
3. *Kritisk nivå när dagvattnet når byggnader med skador på dessa som följd”.*

I samband med skyfall kommer dagvattensystemen att översvämmas och vattnet leta sig till lägre belägna områden. Dessa områden behöver identifieras i så kallade skyfallskarteringar (SvensktVatten, 2019). Otäta dagvattenledningar medför att dagvattnet söker sig till den lägre liggande spillvattenledningen vilket leder till ökad risk för tillskottsvatten där. Därför är det viktigt att hålla koll på höjdsättningen så att vattnet rinner dit man önskar (Lindström, 2020). Med en säker höjdsättning av byggnader, gator och övrig omgivning kan stor säkerhet skapas för att undvika skador på byggnader med mera (SvensktVatten, 2019).

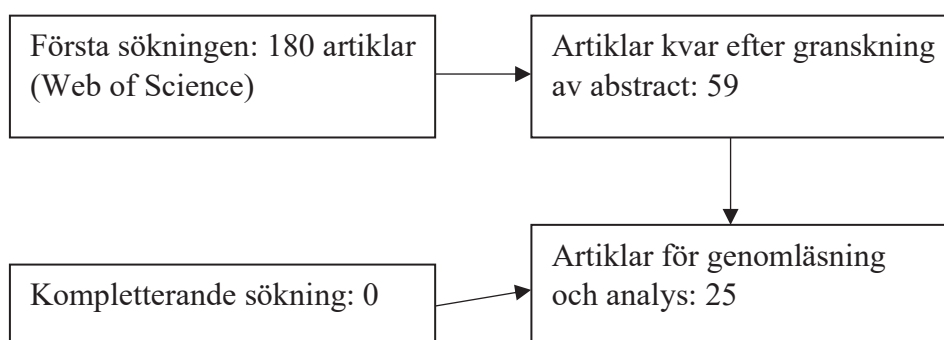
3 Metod

3.1 Litteraturstudie

För att uppfylla studiens syfte, att undersöka hur riskbegreppet används i en VA-kontext i olika delar av världen och hur man tar hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten, har en systematisk litteraturstudie genomförts. För att redovisa de sökningar som har gjorts har sökmatriser sammanställts sedan första testsökningen. Databaserna LUBsearch, Web of Science och Google Scholar har använts för litteratursökningen. Sökord som har använts redovisas i tabell 1, bilaga 1. Exempel på sökord är: *risk, hazard, stormwater drainage network, urban drainage, stormwater system, stormwater network, drainage infrastructure, climate change, pluvial, adaption, design, size, optimize* och *urban stormwater planning*.

För att genomföra litteraturstudien gjordes först testsökningar i LubSearch för att få mer kunskap kring området och en uppfattning om vilka nyckelord som är vanligt förekommande. Två artiklar erhöles som tips för att komma igång med litteratursökningen och användes som grund för vidare sökning: Haghightafshar et al. (2020) och Berndtsson et al. (2019). Under tiden som testsökningarna genomfördes antecknades tänkbara sökord och dess synonymer i en tabell (tabell 2, bilaga 1). Dessa sökblock utvecklades och förfinades efterhand. För den systematiska litteraturstudien användes databasen Web of Science, som har bättre funktioner än LubSearch, vilket underlättade arbetet med att kombinera sökord och hitta en bra sökkombination för studiens syfte. Flera testsökningar gjordes i Web of Science innan en lämplig kombination av sökord kunde konstateras och ett lämpligt antal relevanta artiklar hittades (tabell 3, bilaga 1). Den slutliga sökningen redovisas i ett sökprotokoll (tabell 4, bilaga 1).

Den slutliga sökningen gav 180 träffar vilka analyserades genom att samtliga rubriker och abstract lästes igenom. Av dessa 180 artiklar ansågs 59 relevanta och 25 extra relevanta. De som ansågs vara extra relevanta lästes i full text och samtliga användes i studiens resultat.



Figur 1 - illustration över urvalsprocessen

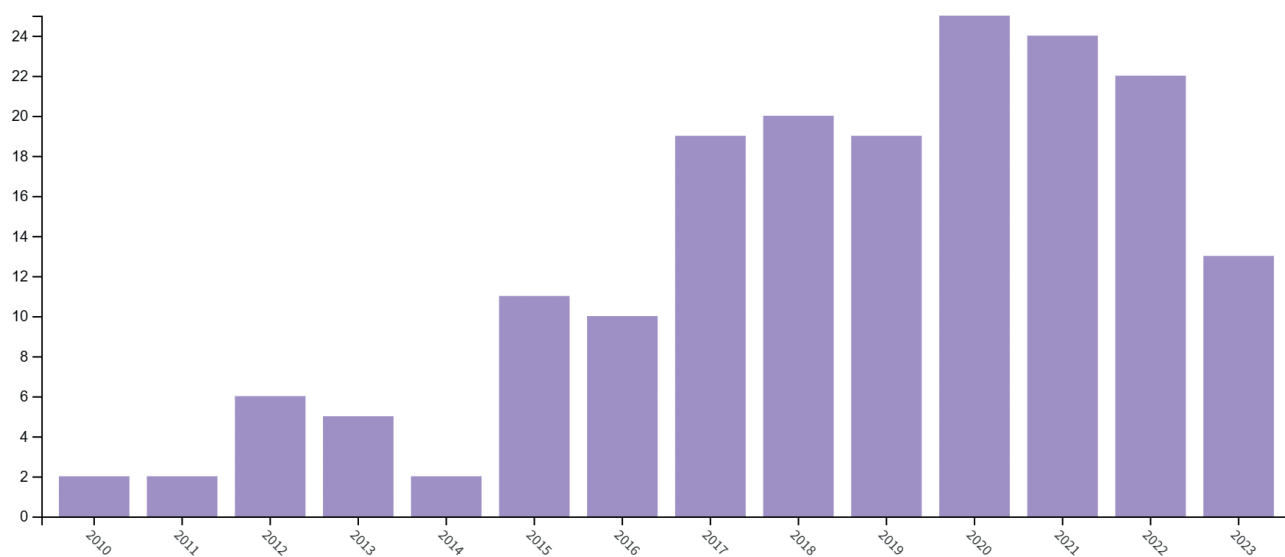
4 Resultat

Innan de utvalda artiklarna började studeras gjordes olika analyser av sökresultaten i databaserna. En del sökord analyserades i LubSearch för att få en uppfattning om hur begreppet har använts genom åren. Ett exempel är *flood risk management* (hantering av översvämningrisk), som nämndes i inledningen. Tabell 2 visar tydligt hur antalet artiklar innehållandes begreppet har ökat med åren.

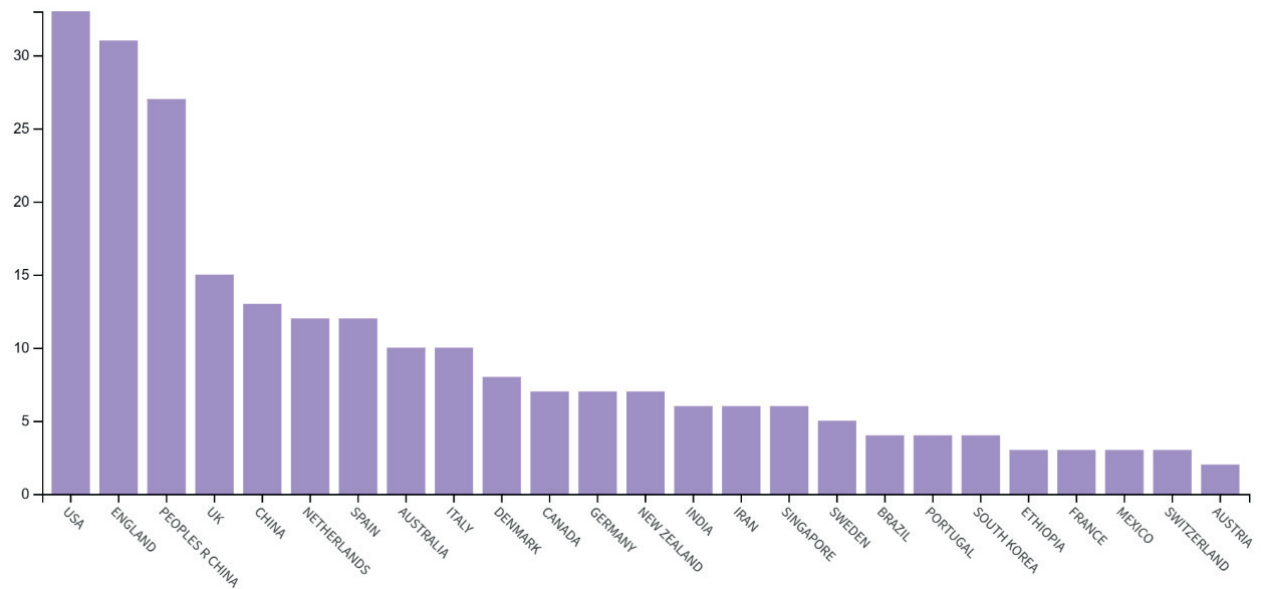
Tabell 2 - analys av begrepp

Sökning: flood risk management					
Databas: LUBsearch					
År	<1990	1990-2000	2001-2010	2011-2020	>2020
Antal träffar	69	48	5 174	28 284	11 206

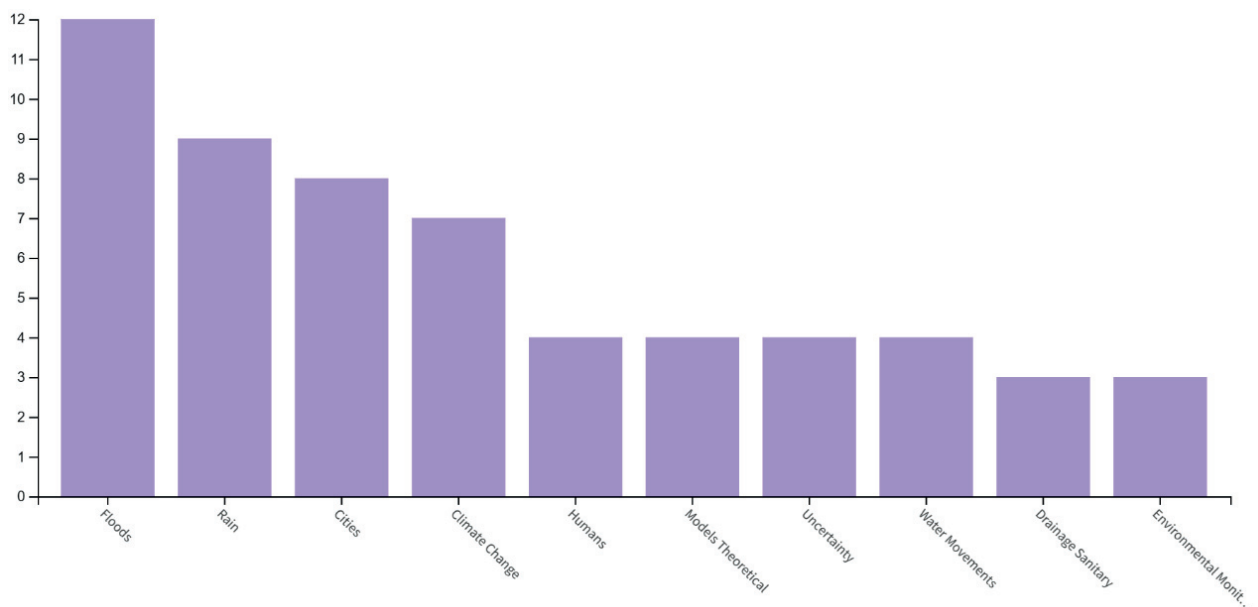
Även i Web of Science analyserades det slutliga sökresultatet, som gav 180 träffar, utifrån fördelning över årtal, geografisk publicering och nyckelord. Figur 2 visar resultatets fördelning över publikations år, figur 3 visar resultatets fördelning över publikationsländer och figur 4 visar resultatets fördelning över nyckelord.



Figur 2 - sökresultatets fördelning över årtal



Figur 3 - sökresultatets fördelning över publikationsländer

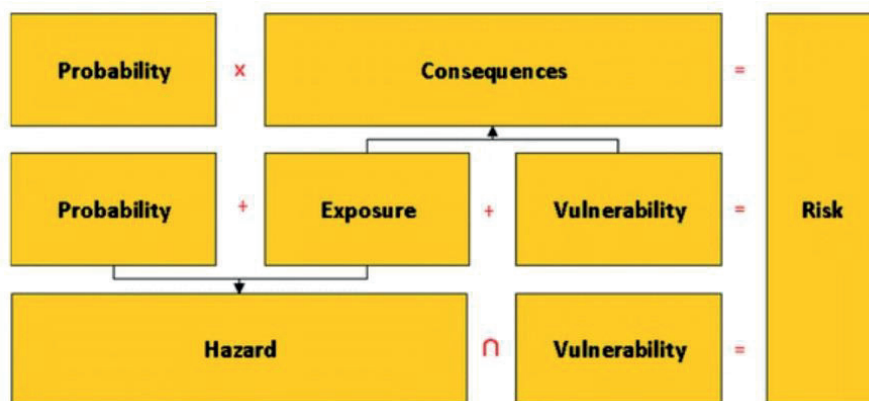


Figur 4 - sökresultatets nyckelord

4.1 Hur definieras begreppet risk

De flesta artiklar beskriver begreppet risk som sannolikheten att något inträffar multiplicerat med konsekvensen av det inträffade, vilket nämndes i inledningen. Salinas-Rodriguez et al. (2018) refererar till en riskmatris framtagen av Klijn et al. (2025) för att beskriva begreppet risk (figur 5). Funktionen mellan sannolikhet för översvämning och dess konsekvenser bestäms av exponeringen och sårbarheten hos konstruktioner. Wall (2011, refererad i Salinas-Rodriguez et al., 2018) menar att parametrarna sannolikhet och konsekvens behöver kompletteras med en tredje parameter, beslutsfattarnas preferens, för att beskriva risk. Olika

beslutsfattare värderar konsekvenser olika och därför behöver man enligt Salinas-Rodriguez et al. (2018) veta till vilken grad en beslutsfattare vill undvika ett visst utfall för att kunna utvärdera risken.



Figur 5 – Riskmatris (Klijn et al., 2015) i (Salinas-Rodriguez et al., 2018) (inget krav på särskilt tillstånd för att publicera bild i kandidatarbete enligt MDPI 2023-08-24)

Kim et al. (2017) talar om ”risk-triplet” som bestäms av ett hot multiplicerat med hotets sannolikhet multiplicerat med dess konsekvens. Uppskattningen av ett hot, dess sannolikhet och konsekvens baseras ofta på historiska data vilket Kim et al. (2017) menar är otillräckligt när framtidens klimatförändringar är ovissa. Några artiklar beskriver begreppet riskindex som används för att uppskatta riskens omfattning. Cai et al. (2021) använder en metod för att beräkna konsekvensen av ett bristande rörsystem med en viktad resultatmodell.

För att kvantifiera konsekvenser i form av kostnader som översvämningar för med sig har olika forskning gjorts:

- Förväntade årliga skador (*expected annual cost, EAD*) och kostnadsnyttoanalys (*cost-benefit analysis, CBA*) beskrivs vara effektiva verktyg för att göra en kvantitativ riskbedömning (Ortiz et al., 2021).
- I Australien uppskattas urban översvämning ha orsakat fastighetskadorna för 314 miljoner dollar mellan åren 1998–2000. Australienska dagvattensystem är i konstant dåligt skick och problemet anses brådskande. Trots det återinvesteras det inte så mycket i förbättrade system som rekommenderas av kapitalförvaltare. Frågan om hur man bäst fördelar en begränsad budget för upprustning av dagvattensystem kräver därför noggrann utredning (Cai et al., 2021).
- Q. Zhou et al. (2012) har genomfört en sårbarhetsanalys i Odense, Danmark, där man har tittat på förhållandet mellan de skador som översvämningar orsakar och dess medförda kostnader. De fysiska skadorna delades in i skador på byggnader, källare och infrastruktur. Immateriella skador delades in i administrationskostnader (extra mantimmar), sjöar (antalet förorenade sjöar), hälsa (antalet personer utsatta för avloppsvatten) och trafikfördröjningar (antalet platser och totalt antal timmars försening till följd av en översvämning). En ekonomisk bedömning av översvämningsskadorna gjordes för 2, 10, 100 och 1000 års regn, förutsatt dagens klimatförhållanden. Tillgängliga data över skadestnader användes för att definiera förhållandet mellan översvämningdjup och skador för de olika kategorierna vilket resulterade i att kostnad per översvämmad enhet kunde beräknas (figur 6).

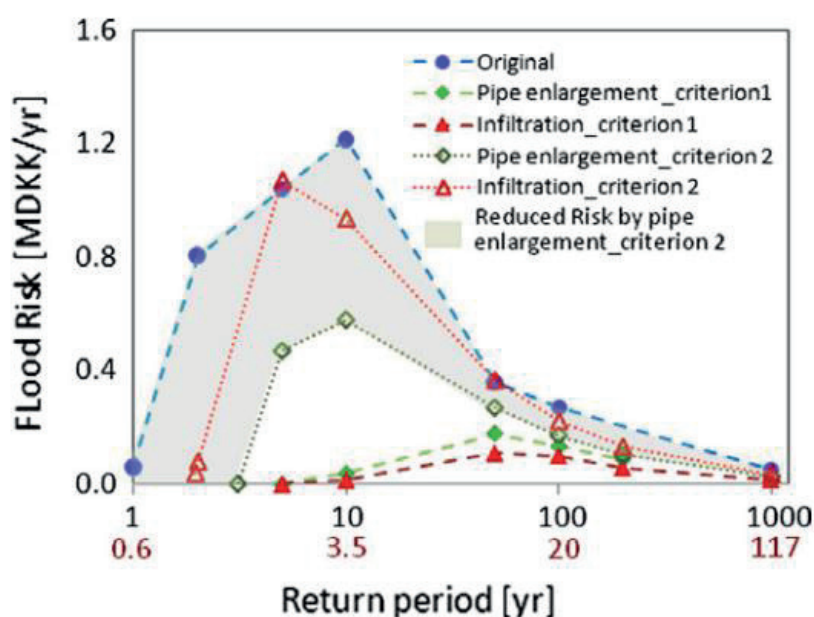
Damage category	Sub-category	Damage descriptions				Unit costs (DKK)	Critical thresholds (cm)
		2 yr	10 yr	100 yr	1000 yr		
Physical damage	Houses flooded	2	8	18	34	500,000	20
	Basement flooded	14	71	267	578	25,000	0.3
	Road damage	0 place	5 places	8 places	11 places	1,000,000	30
	Sewer damage	6 manholes	16 manholes	31 manholes	41 manholes	30,000	10
Intangible losses	Administration costs	10 h	50 h	200 h	400 h	300	^a
	Lakes	0 lake exposed to pollution	1 lake exposed to pollution	2 lakes exposed to pollution	4 lakes exposed to pollution	500,000	15
	Health	26 people exposed to sewage	133 people exposed to sewage	499 people exposed to sewage	1081 people exposed to sewage	6887	^b
	Traffic delays (h)	10 places-70 h	34 places -238 h	55 places-385 h	65 places-455 h	127	15

^a Estimation of work time needed in municipality according to the municipal employees.

^b Estimation of exposed population based on the number of flooded basements.

Figur 6 - ekonomisk utvärdering av kostnader för översvämningsskador (Q. Zhou et al., 2012) (tillstånd att publicera bild i kandidatarbete erhöles från Elsevier 2023-07-01)

Vidare undersöker även Q. Zhou et al. (2012) hur beslut tas vid anpassning i olika områden. Två olika anpassningssätt utvärderas i studien med hjälp av två olika beslutskriterier. Det ena anpassningssättet är att bevara och utöka den hydrauliska kapaciteten av det kombinerade systemet genom att förstora rördiametern och det andra är att införa lokal infiltration för att minska belastningen på avrinningsområdet. Det ena beslutskriteriet (D1) är att anpassning ska ske på ett rättvist sätt, alla berörda parter ska påverkas lika mycket ur ett fysiskt, socialt och ekonomiskt perspektiv, ingen ska få någon fördel. Anpassningen innebär således att det ska finnas en lägsta servicenivå för alla typer av skador som gäller för alla oavsett status. Det andra beslutskriteriet (D2) ser till den ekonomiskt optimala anpassningen. Den tar hänsyn till anpassning på platser där anpassningen har störst marginalfördelar ur ett helhetsperspektiv. Det innebär att kostnader och fördelar betraktas vid val av lösning och endast det som ger störst avkastning väljs. Vidare jämförs även nyttan av en anpassning av dagvattensystemet dels under förutsättning att klimatförändringarna kommer att inträffa (figur 7, röda siffror på x-axeln), dels då de inte inträffar och nederbördsmängden förblir densamma som idag (figur 7, svarta siffror på x-axeln) (Q. Zhou et al., 2012). Studiens resultat redovisas i figur 7.



Figur 7 - årlig risktäthetskurvor (Q. Zhou et al., 2012) (tillstånd att publicera bild i kandidatarbete erhöles från Elsevier 2023-07-01)

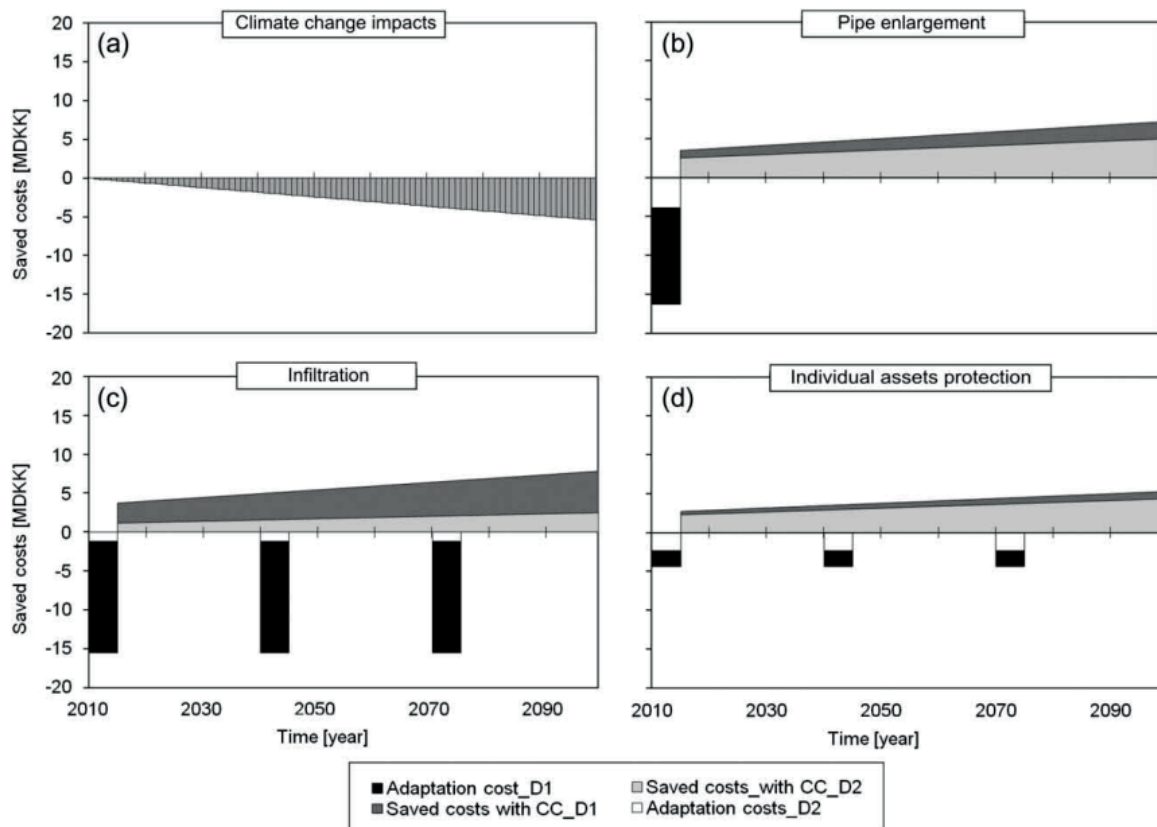
Studien visar att anpassning baserad på det ekonomiskt optimala beslutskriteriet förekommer där det råder hög översvämningsrisk och leder till minskad riskreduktion. Högt belägna bostäder behöver inte betraktas enligt det första beslutskriteriet eftersom de är mindre benägna att drabbas av översvämningar. Anpassningar baserade på rättvisekriteriet har högre riskreduktion och tillåter färre förluster än det ekonomiskt optimala kriteriet. Studien visar även att extremväder, med en återkomsttid på mer än 100 år, som medför höga skadekostnader endast bidrar marginellt till den totala risken tack vare dess låga förekomst. Trots detta baseras många politiska beslut på extremväder (Q. Zhou et al., 2012).

Q Zhou et al. (2012) genomförde även en liknande studie på samma plats (Odense, Danmark) där skador till följd av ett 100-års regn kategoriserades och kvantifierades. Därefter kvantifierades skadorna igen efter att ha infört olika anpassningslösningar såsom rörförstoring (M1), infiltration (M2) och skydd av enskilda tillgångar (M3) samt utifrån olika de ovannämnda beslutskriterierna (D1 och D2). Resultatet redovisas i MDKK i figur 7.

Damage category	Original damage	D1			D2		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3
House	18	8	5	3	8	9	16
Basement	267	128	114	73	150	245	240
Traffic delay (hr)	385	245	210	385	322	336	224
Sewer (manhole)	31	31	17	31	35	29	19
Lake	2	1	1	2	3	1	2
Road	8	3	3	8	6	7	5

Figur 8 - sårbarhetsbedömning av ett 100-års regn före och efter införande av anpassningslösningar och beslutskriterier (Q Zhou et al., 2012) (tillstånd att publicera bild i kandidatarbete erhöles från IWA Publishing 2023-07-10)

Vidare gjordes även en socioekonomisk analys av de reducerade översvämningskadorna och dess motsvarande investeringskostnad efter att de olika anpassningarna införts (Q Zhou et al., 2012). Figur 8 visar anpassningskostnad för de olika beslutskriterierna (D1 och D2) vid respektive anpassningsmetod samt insparade skadekostnader för de olika beslutskriterierna under påverkan av klimatförändringar.



Figur 9 - investeringskostnad och insparade skadekostnader (Q Zhou et al., 2012) (tillstånd att publicera bild i kandidatarbete erhöles från IWA Publishing 2023-07-10)

Ortiz et al. (2021) menar att tidigare forskning visar på att det är svårt att kvantifiera förhållandet mellan risk och nederbörd på grund av det inte går att ta fram ett linjärt samband. I Barcelona, Spanien, tog man år 2019 fram en ny integrerad huvudplan för dagvattenhantering i staden (Ortiz et al., 2021). Denna ska undersöka förhållandet mellan ökning av nederbörd och stadens budget för översvänningsåtgärder. Planen förväntas bli ett effektivt verktyg för att minska stadsmiljöns sårbarhet och skydda människor, tillgångar och miljön. Den nya planen mäter kostnader för exempelvis nya ledningar och grön infrastruktur under rådande klimatförändringar och nya nederbördsmängder. Budgeten för den nya huvudplanen uppgår till 730 miljoner euro. Jämfört med den gamla översiktsplanen för Barcelonas avloppssystem (PICBA) från 2006 har kostnaderna för översvänningshantering ökat med 147 % (Ortiz et al., 2021). Bayas-Jiménez et al. (2022) har med hjälp av en optimeringsalgoritm räknat på översvännings- och investeringskostnaderna för två olika dagvattensystem, ett i norra Italien och ett i Bogotá, Colombia. Studien visar att översvänningskostnaderna kan sänkas från 733 282 € till 5 608 € i norra Italien och från 118 955 € till 27 722 € i Bogotá. Investeringskostnaderna för de optimala åtgärderna utgör 3% respektive 38% vilket är en relativt låg kostnad (Bayas-Jiménez et al., 2022).

4.2 Hur man har tagit hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten i olika delar av världen

4.2.1 Uppdaterade IDF-kurvor

Många IDF-kurvor är för närvarande baserade på antagande som inte tar hänsyn till klimatförändringarna och befintliga dagvattensystem är således dimensionerade utifrån mått som inte kommer att stämma överens med framtida nederbörds mängder (Galiatsatou & Iliadis, 2022). Åldrande och korroderande dagvattensystem löper en hög risk för att översvämmas och brista i takt med klimatförändringar och ökade regnmängder (Bamm et al., 2017). Dagvattensystem kan bli både under- och överdimensionerade på grund av de osäkerheter som råder vid framtida nederbörds uppskattning (Medeiros de Saboia et al., 2020). Det blir därför allt viktigare att ta hänsyn till osäkerheter orsakade av klimatförändringarna vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten. Ett första steg i dimensioneringsprocessen är att välja vilken nederbörds mängd och återkomsttid man ska utgå ifrån.

Implementeringskostnader för dagvattensystem är ofta relaterade till dagvattenledningens diameter och kan variera stort beroende på vilken IDF-kurva som används vid dimensioneringen (Medeiros de Saboia et al., 2020). Dimensioneringsstandarder utvecklas hela tiden i takt med att klimatet förändras. På grund av att dagvattensystem dimensioneras utifrån historiska data kommer avvikelser från dessa leda till eventuell sårbarhet. Sårbarhet innebär att ett dagvattensystem är mottagligt för en viss fara vilket utgör en risk. För att kunna planera för framtida klimatförändringar och ta hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten behövs därför uppdaterade nederbördsdata såsom IDF-kurvor.

Många tidigare studier visar att dagens IDF-kurvor inte kommer att klara av framtidens regn och därför måste uppdateras (Bibi & Tekesa, 2023), (Medeiros de Saboia et al., 2020), (Bamm et al., 2017) m.fl.

Riskbaserad återhämtningsplanering vid utformning av dagvattensystem

En studie gjord i San Francisco, USA, har tagit fram nya verktyg för att konstruera framtida IDF-kurvor (Bamm et al., 2017). Verktöget *WeatherShift flooding tool* använder data från 21 olika klimatmodeller för att skapa framtida nederbördsstatistik och används för att ta fram IDF-kurvor och nederbörds serier som är baserade på IPCC:s senaste klimatprognos. Detta underlättar arbetet med att ta hänsyn till framtida osäkerheter vid dimensionering av ledningsnät genom att optimera ledningens kapacitet och minimera livscykelkostnader. Verktöget hjälper projektören att väga kostnaden för att dimensionera ledningsnät så att det kan hantera de ökade regnmängderna mot kostnaden att dimensionera ledningsnätet ohållbart så att systemet inte kan hantera de framtida nederbördsförändringarna (Bamm et al., 2017).

Användning av riskanalys och beslutsfattningsverktyg vid dimensionering av dagvattensystem

Medeiros de Saboia et al. (2020) uppmärksammar att det inte har tagits full hänsyn till osäkerheter orsakade av klimatförändringar vid aktuella utformningsprojekt, till exempel används i dagsläget IDF-kurvor baserade på regndata från 1928 till 1975 vid projektering av dagvattensystem i Fortaleza, Brasilien. I en studie som har genomförts i Fortaleza, Brasilien, testas ett nytt beslutsverktyg, baserat på 6 olika beslutsmodeller, för att välja optimala GCM- och RCP-scenarier som skulle kunna leda till en mer hållbar dimensionering av dagvattensystemet i Fortaleza. RPCs (*representative concentration pathways*) är olika

förutspådda klimatscenarion, framtagna av IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), som kan tänkas uppstå i framtiden beroende på hur mycket växthusgas som släpps ut årligen. RPC används i sin tur som underlag för att ta fram GCMs (*general circulation models*) som kan uppskatta framtida nederbördsförhållande på olika platser (Medeiros de Saboia et al., 2020). Studien utgår ifrån att risk kopplad till ökade regnmängder ska minimeras till en minimal kostnad. Den föreslagna metoden genererade nya IDF-kurvor för olika klimatförändringsscenarion. Med hjälp av riskanalysmodellerna utvärderades implementeringskostnaden för utformningen av de olika dagvattensystem till respektive klimatscenario. Kostnaderna visade sig variera stort vilket tyder på att beslutfattningsverktyget kan vara användbart för beslutsfattare och medföra att ett kostnadseffektivt och robust dagvattensystem kan implementeras (Medeiros de Saboia et al., 2020).

Studien visar att under- och överdimensioneringsproblem kan dämpas genom användning av riskanalysmetoder. Det rekommenderas dock att andra riskanalysmetoder bör användas för att göra beslutet mer pålitligt i framtiden samt att om metoden ska användas på andra platser än den studerade bör nya urval av GCM och RCP utföras för att bättre passa den platsen (Medeiros de Saboia et al., 2020). Det finns många liknande riskanalysmodeller som kan användas.

IDF-kurvor för ej uppmätta områden

Galiatsatou & Iliadis (2022) har undersökt en metod för att snabbt och enkelt ta fram IDF-kurvor som kan appliceras i områden där kortvariga nederbördsobservationer ej har genomförts tidigare. Metoden använder extremvärdesteori och generaliserat extremvärde för att analysera extrem nederbörd. Extremvärdesteori används för att studera extremvärdena av en slumpmässig variabel vilket här innebär att man försöker förstå och modellera de mest extrema nederbördshändelserna. Generaliserat extremvärde är en statistisk sannolikhetsfördelning som används för att analysera extrema händelser så som extrem nederbörd (Galiatsatou & Iliadis, 2022). Deras föreslagna tillvägagångssätt, som tar hänsyn till förändring i årlig nederbörd, implementerades i ett område på Kreta, Grekland, vilket resulterade i ökat antal uppskattningar av återkomsttiden med 20,5%. Ett nytt dagvattensystem konstruerades utifrån antagandet om ett föränderligt klimat vilket ledde till större diameter på ledningarna jämfört med ledningar som dimensionerats efter de stationära förhållandena (Galiatsatou & Iliadis, 2022).

4.2.2 Riskbaserade beslut och tillvägagångssätt

För att ta hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät krävs det alltid att någon, ingenjörer och stadsplanerare, tar ett beslut om det. Besluten kan innefatta var risk bör undvikas och var risk ska tas till en viss grad. För att kunna ta ett riskbaserat beslut krävs tillgänglig och uppdaterad information. Ett beslut kan påverka ett område positivt samtidigt som det påverkar ett annat negativt. Med riskbaserade strategier kan detta undvikas och risk för bristande system minimeras.

En semiriskbaserad metod för att hantera dagvattensystem under extremväder

Det finns två traditionella sätt att dimensionera ledningsnät för dagvatten. Det första är ett standardbaserat tillvägagångssätt som fokuserar på att hålla dagvattensystemet fungerande vid en viss nederbördsmängd. För att analysera olika alternativ används deterministiska värden vilket begränsar behovet av intressenters inblandning. Fördelarna med att minska påverkan på ledningsnätet genom olika investeringar vägs inte mot investeringskostnader med denna metod. Det andra är ett riskbaserat tillvägagångssätt vilket, till skillnad mot det standardbaserade, gör det möjligt att jämföra investeringar och dess förväntade effekt. Den riskbaserade metoden kan därför användas för att ta informerade beslut kring olika alternativa investeringar. En väntad effekt av en investering är vanligtvis en minskning av förväntade årliga skador (*expected annual damage*, EAD). Uttrycket förväntade årliga skador kan beskrivas som de genomsnittliga årliga konsekvenserna av översvämningar uttryckt i form av antal personer och fastigheter som påverkas samt de medförda kostnaderna för dessa (Salinas-Rodriguez et al., 2018). Det riskbaserade tillvägagångssättet kräver inblandning av erfarna intressenter för att kunna väga in sannolikheter och effekter i analysen av de olika alternativen. Denna metod är kostsam för staden och används därför inte vanligtvis. Salinas-Rodriguez et al. (2018) föreslår därför en semiriskbaserad metod som kombinerar de två traditionella metoderna. Metoden kan användas av ingenjörer och stadsplanerare för att prioritera var anpassningsåtgärder ska genomföras och möjliggör kostnadseffektiva insatser. Metoden har testats i en fältstudie i Rotterdam, Nederländerna, där den användes som ett verktyg för att välja vilka delar av staden som bör prioriteras baserat på en uppskattad risknivå i dessa områden. Metoden visade sig vara effektiv och reducerade risknivån från hög till låg i vissa områden (Salinas-Rodriguez et al., 2018).

"Safe-to-fail" och "fail-safe" anpassning – beslutsfattande för urban översvämning under klimatförändringar

I Phoenix, Arizona, har en studie gjorts för att utvärdera vägars sårbarhet vid en viss översvänningsintensitet och för att utveckla ett beslutskriterium för hantering av dagvattensystem. Studien visar att beslutsfattarens rekommendationer för ett infrastruktursystem kan påverka ett annat negativt och att detta kan undvikas med rätt strategi. Strategier för att begränsa översvämningar behöver utvecklas så att bristande infrastruktur inte påverkar människor eller annan infrastruktur. Det finns dock motsägelsefulla riskbaserade dimensioneringsstrategier som kan leda till olika lösningar för hantering av översvämningar på vägar. Kim et al. (2017) understryker vikten av att ta fram ett nytt dimensioneringsparadigm som tar hänsyn till klimatrelaterade osäkerheter under beslutsprocessen och förbereder infrastruktur för att stå emot oförutsedda klimatrisker. Tidigare har man utgått från strategin "fail-safe" vid planering för infrastruktur och hantering av dagvatten. Strategin innebär att risker förutses med en viss säkerhetsfaktor och utifrån det planeras förebyggande åtgärder. "Fail-safe" infrastruktur bygger på historiska risk data och kan resultera i förödande systemfel när oväntade händelser inträffar. "Safe-to-fail" är ett nytt tankesätt som beskriver anpassningsstrategier som tillåter infrastruktur att brista men kontrollerar eller minimerar konsekvenserna. Det råder dock oklarheter om vad "safe-to-fail" infrastruktur är. Det som beskrivs som "safe-to-fail" i en stad behöver inte vara det i en annan. Kim et al. (2017) föreslår att "safe-to-fail" infrastruktur är ett system som kan anpassa sig till osäkra och oförutsägbara infrastrukturfel, såsom extrema nederbördshändelser, genom

sociala, ekologiska och tekniska interaktioner och anpassningsmetoder. ”Safe-to-fail”-strategin ger ett tillvägagångssätt för att stärka infrastruktursystemens motståndskraftiga kapacitet genom att fokusera på att förstärka specifika infrastrukturegenskaper och på så vis minimera konsekvenserna av systemfel. Multikriteriebeslutsanalys (MCDA¹) anses vara ett effektivt sätt att organisera många "safe-to-fail"-egenskaper och underlättar beslutsfattande över olika urbana infrastrukturegenskaper och anpassningslösningar (Kim et al., 2017).

Hydraulik- och riskkombinerad modell för att minimera systemfelsrisker (HRCM²)

Kanadensiska forskare har undersökt en ny riskbaserad metod för att kunna identifiera optimala strategier för upprustning av dagvattensystem under begränsad budget (Cai et al., 2021). Metoden använder:

- en dagvattenhanteringsmodell (SWMM) för hydraulisk modellering
- ett hydrauliskt prestandaindex för att leta upp rör som bidrar till översvämning i ett system
- riskindex för att avgöra den totala risken för ett dagvattensystem
- en tidigare använd upprustningskostnadsmetod för att välja strategi i förhållande till budget
- en multiobjektiv optimeringsmetod som kombinerar hydraulisk prestanda och risk för fel för att optimera systemet
- en efterbehandlingsmodul för att ta bort upprepade resultat

Undersökningen visade att vid kombination av hydraulik- och riskmodeller kan den hydrauliska prestandan maximeras samtidigt som risker för fel i systemet minimeras. Metoden kan användas för att ta beslut vid bedömning av ett dagvattensystem och uppskatta risken för brott i olika ledningar. Modellen kan identifiera strategier som kan hjälpa projektörer att välja den optimala upprustningsmetoden för ett dagvattensystem (Cai et al., 2021).

Dimensioneringsutmaningar

Underwood et al. (2020) menar att det idag används ett riskbaserat angreppssätt vid dimensionering av infrastruktur som inte är tillräcklig när klimatförändringarna slår till. Osäkerheter hos kritiska faktorer som påverkar systemets prestanda kvantifieras, sedan väljs en acceptabel risknivå och slutligen dimensioneras systemet utifrån den valda risknivån. Underwood et al. (2020) föreslår istället ett motståndskraftigt dagvattensystem som anpassar sig efter klimatförändringar med hjälp av sensorer som kan förutse konsekvenser och föreslå lämpliga anpassningsåtgärder. Liksom tidigare artiklar så påpekar även Underwood et al. (2020) att befintliga dimensioneringsstandarder är baserade på historiska data och att det finns ett behov av ett dimensioneringsparadigm. Men att uppdatera regndata tar tid. I USA används en nationell, statsöverskridande, nederbördsintensitetsguide för dimensionering av dagvattensystem. I Texas uppdaterades år 2018 denna nederbördsstudie, Texas Atlas 14, vilket var första gången på 60 år. I Phoenix, USA, genomfördes en studie för att undersöka

¹ *Multi criteria decision analysis* är en metod för att analysera motstridiga alternativ och avgöra vilket som är bäst lämpat för situationen

² *Hydraulics and risk combined model*

dimensioneringsosäkerheter kopplade till klimatförändringar. Dagvattensystem i östra, södra och sydvästliga delarna av USA som är dimensionerade efter de tidigare riktlinjerna, TP40, beräknades vara underdimensionerade jämfört med klimatdata framtagna i den senaste analysen, NOAA-14. I västra USA och Ohio River valley beräknades dagvattensystemen dimensionerade efter samma riktlinjer, TP40, vara överdimensionerade. Överdimensionerad infrastruktur betraktas inte som ett hot men kan få oförutsedda konsekvenser såsom ökade kapital-, underhålls- och rehabiliteringskostnader och eventuellt större inverkan på människor och miljö (Underwood et al., 2020).

4.3 Riskreduktion

Översvämning i urbana miljöer till följd av klimatförändringar och urbanisering tenderar att förekomma där dagvattenflödet överskrider ledningsnätets kapacitet. Således finns det ett behov av att utöka och förbättra dagvattensystemet för att reducera översvämningsrisker (Li et al., 2019). Utöver att undersöka hur man har tagit hänsyn till risker vid dimensionering för ledningsnät undersöktes det i litteraturstudien även konkreta åtgärder för att reducera riskerna. Litteraturstudien visar att riskreduktion förekommer på olika sätt. Tidigare lösningar för att förbättra ledningsnätets kapacitet har varit att utöka systemet eller byta ut befintliga rör. Detta är dock ingen kostnadseffektiv lösning. Gröna lösningar visade sig vara ett vanligt förekommande sätt att hantera risker men även AI och kommunikation används för att reducera riskerna vid översvämning (Li et al., 2019), (Altami & Salman, 2022), (Karamouz et al., 2011), (Yu et al., 2017), (Zhou et al., 2018), (Moore et al., 2016) m.fl.

Kostnadsbaserad effektivisering

LID – *low impact development* – har blivit en alltmer använd metod för att kontrollera dagvatten genom att använda grön infrastruktur såsom gröna tak och nedsänkta grönytor (Li et al., 2019). Det är ett effektivt sätt att infiltrera och återanvända dagvattnet. Studier har dock visat att LID endast kan kontrollera dagvattnet för små regnstormar och därför inte är en bättre lösning än traditionell hantering. Li et al. (2019) genomförde en studie i Shanghai City, Kina, där en kombination av LID och uppgradering av traditionella avrinningslösningar testades som lösning för att kontrollera dagvattenavrinning. Olika LID-lösningar, ledningsnät för dagvatten och lagringstankar testades utifrån dess effektiva förmåga att reducera översvämningsrisker. Studien visade att installera lagringstankar är ett bättre och effektivare sätt att reducera översvämningsrisker än att uppgradera det befintliga ledningsnätet för dagvatten. Dock kostar det desto mer att installera lagringstankar.

Användning av smart teknologi och matematiska metoder för optimerad dagvattenhantering

RTC – *real time control*³ – är ett sätt att hämta in information från dagvattensystemen via datautrustning som kan användas för att förbättra effektiviteten hos dagvattensystem. Genom att utnyttja kapaciteten hos befintliga ledningsnät bättre, samtidigt som kostnader för expanderings- och ombyggnadsåtgärder hålls nere, skapas effektivare dagvattenhanteringsstrategier (Altami & Salman, 2022). RTC minskar risken för brister i dagvattensystem och kan på så sätt

³ Realtidssystem som reagerar vid en viss händelse inom ett visst tidsintervall

användas för att maximera ledningsnätens livslängd. Med åren har utbudet av billiga sensorer ökat vilket sätter RTC i framkant för *smart dagvattenhantering*⁴. Genom att utrusta dagvattenfördröjningsbassänger med smart teknologi, *IoT-baserade sensorsystem*⁵, kan dagvattenflöden styras från uppströmsbassänger och undvika bräddning i fördröjningsbassänger nedströms (Altami & Salman, 2022). Detta kan hjälpa städer att reducera risken för översvämningar.

Karmouz et al. (2011) har undersökt en algoritm som väljer den bästa hanteringsstrategin (*best management practices*, BMP) för att förbättra dagvattensystemets prestanda vid utmanande översvämningar till följd av klimatförändringarna. Studien genomfördes i Tehran, Iran, och visade hur användbara analytiska verktyg kan vara för att förbättra urbana dagvattensystem. Användningen av en optimal kombination av BMP resulterade i en minskning av översvämmade områden och skador, till följd av översvämningarna, visade sig minska med tiden (Karamouz et al., 2011). BMP-metoderna som utvärderades var: öka grönområdet, bygga avledningskanaler, fördubbla de stängda kanalerna, öka den öppna kanalkapaciteten, öka förvarsdammens kapacitet och bygga fördröjningsdamm med naturlig bädd och stenmur (Karamouz et al., 2011).

Yu et al. (2017) har föreslagit en stokastisk optimeringsmodell med syfte att underlätta avvägningar mellan investeringar och acceptabla översvämningsskador för urbana dagvattensystem. Studien genomfördes i Singapore och visade bland annat att investeringar behöver öka med 1,65 gånger för att möta framtida nederbördsmängder och behålla samma översvämningsskontroll som idag (Yu et al., 2017).

The Storm Water Management Model (SWMM) är en flitigt använd dagvattenmodell som kan simulera vilken väg avrinningen kommer att ta och rörens dynamik under en viss nederbördshändelse (Zhou et al., 2018). Genom att mildra klimatförändringarna kan översvämningssmängderna minskas. Zhou et al. (2018) har jämfört skillnader i översvämningssreducering genom minskade växthusgasutsläpp och förbättrade dagvattensystem. Studien genomfördes i Hohhot, norra Kina, och visade att anpassning av dagvattensystemet är effektivast för reducering av översvämningar.

Anpassningskapacitet i Victoria och Hiawatha, USA

Begränsad information om klimatanpassningskostnader anses vara en barriär vid samhällsplanering både i USA och Europa (Moore et al., 2016). En studie har gjorts i två amerikanska städer, Hiawatha och Victoria, för att undersöka dels potentiella fördelar med att integrera strukturell och icke-strukturell grön infrastruktur med konventionella dagvattensystem för att på så vis öka motståndskraften mot klimatförändringar, dels för att jämföra kostnaderna för grön infrastruktur med konventionella ingenjörstekniska klimatanpassningsmetoder. Hiawatha har gamla ledningsnät som är dimensionerade för 10-årsregn eller mindre. Victoria har ett nyare system som också är dimensionerat för 10-årsregn. Följande resultat erhöles:

⁴ Dagvattenhantering som använder sig av digitala hjälpmedel

⁵ Sensorer med inbyggd teknologi och internet som gör att data kan utbytas över nätet

- Studien visade att utnyttjande av lagring längs gator och intilliggande gräsmattor var en effektiv metod och tillräckligt för att lagra översvämningens volymer under byggnadshöjder i Victoria men inte i Hiawatha.
- Användning av bioinfiltrationsområden i Hiawatha och Victoria minskade översvämningens volymen men mildrade inte helt översvämningarna.
- Genom att utöka ledningsnätet för dagvatten eller bredda rördiametern kunde översvämningarna elimineras något i båda städerna. Dock visade studien att utvidgande av ledningsnätet för att kunna ta hand om toppflödena ledde till en intensifiering av översvämningarna i Hiawatha. Detta på grund av att reservoaren som ledningsnätet mynnade ut i fylldes under höga flöden vilket ledde till ett negativt uppåtgående vattenflöde och trycksättning i ledningarna. Vattenflödet trycktes upp till marken på flera håll och översvämningseffekterna förvärrades. I Victoria gjorde rörtutvidgningen att den ökade nedbörden kunde tas omhand och översvämningar undvikas.
- Underjordisk lagring undersöktes också för olika nederbördsscenarios där rörtutvidgning och bioinfiltration inte eliminerade översvämningarna. Intensifieringen av nederbörd krävde för båda fallen stora lagringsvolymer under jord.
- Genom att kombinera bioinfiltrationsområden med grå infrastrukturuppgraderingar minskade anpassningskostnaderna i Hiawatha förutom under det mest extrema nederbördsscenariot. I Victoria ökade istället anpassningskostnaderna vid kombinationen av bioinfiltrationsområden och grå infrastrukturuppgraderingar.

Anpassningsstrategier som innefattar dagvatteninfiltration, grön infrastruktur, kan reducera de totala kostnaderna samtidigt som det ger många fördelar gentemot endast grå infrastruktur (Moore et al., 2016).

Riskkommunikation

*Pluvial flood risk management (PFRM)*⁶ behöver implementeras av beslutsfattare och i samhället för att öka förståelsen för översvämningens risker. Schmitt & Scheid (2020) lyfter riskkommunikation som en av de viktigaste faktorerna för att lyckas med översvämningens förebyggande åtgärder inom PFRM. De förslår ett nytt sätt att kommunicera med allmänheten för att öka förståelsen för omfattningen av extrema nederbördshändelser hos de drabbade. Ibland kan det vara svårt för icke-expertter att förstå sig på termer så som återkomsttid och 100-års regn, därför föreslås det att ett allvarlighetsindex (*rainstorm severity index, RSI*) bör användas istället. RSI tydliggör storleken och allvaret av en nederbördshändelse och antas vara enklare att ta till sig för allmänheten (Schmitt & Scheid, 2020). På så vis förväntas översvämningens riskerna utbredning och dess medföljande skador kunna reduceras.

Geografiska informationssystem (GIS) och multikriterieutvärderingsteknik (MCE) för översvämningens hotade områden och kartläggning av risker

För människor i fattiga länder slår översvämningar hårdare än för människor i andra delar av världen. Fattiga människor är sämre rustade mot översvämningar och har inte samma

⁶ Hantering av översvämningens risker orsakade av extremregn

ekonomiska möjlighet att försäkra sig. Likaså är dagvattensystem i fattigare länder ofta ofullständiga och i behov av renovering. För att minimera översvämningssrisker i storstäder så är det viktigt att identifiera områden som riskerar att översvämmas genom att använda *geospatial teknik*⁷(Weday et al., 2023). Snabb urbanisering och dålig miljöpolitik skapar tillsammans dåliga förutsättningar för översvämningshantering och innebär således en risk.

Att kartlägga extra utsatta områden menar Weday et al. (2023) är en effektiv metod för att identifiera sårbara områden och arbeta med förebyggande åtgärder. För att kartlägga hotade områden och risker kan *GIS*⁸-baserade *multikriterieutvärderingstekniker* (MCE)⁹ användas. Ett område i Jamma city, Etiopien, har studerats med hjälp av ovannämnd teknik. Fem viktiga faktorer för översvämningssrisker identifierades: lutning, dräneringstäthet, höjd, markanvändning och jordmån (Weday et al., 2023). Baserat på dessa faktorer gjordes en kartläggning av sårbarhetsrisker med hjälp av GIS och MCE. Studien visade att områden längs floder och våtmark var mer utsatta för översvämningssrisk än lågt belägna områden. Lutning var den viktigaste faktorn för översvämning.

Människor med mindre pengar tenderar i högre grad att bo längs floderna och är på så vis extra utsatta för översvämningar. På grund av sin ekonomiska situation har de heller ingen möjlighet att försvara sig. I Jamma city saknas det öppna ytor för att bygga nya hus och därför tvingas den ökande befolkningen att bosätta sig längs floderna vilket i sin tur ökar risken för att fler drabbas av översvämningar. Översvämningarna orsakar inte bara förstörda fastigheter och dödsfall, de orsakar även vattenburna sjukdomar som kan förorsaka ännu fler dödsfall. Weday et al. (2023) föreslår att intressenter och beslutsfattare i staden bör öka investeringarna i bättre dagvattensystem och flodbankar för att reducera översvämningssriskerna.

⁷ Geografisk kartläggning och analys av förändringar i jordytan och samhällen

⁸ *Geographic Information System*

⁹ *Multi-Criteria Evaluation* används för att utvärdera olika alternativ och välja det bäst lämpade

5 Diskussion

Litteraturstudien sökresultat redovisas i olika diagram. Figur 1 tydliggör att forskningen kring risk och klimatförändringar i en dagvattenkontext har ökat markant de senaste åren vilket tyder på att intresset för de risker som klimatförändringarna för med sig för dagvattensystem har blivit allt större. Figur 2 åskådliggör att flest studier har gjorts i USA och Storbritannien men bland de mindre länderna sticker Nederländerna ut. Inte helt oväntat med tanke på dess marknivå och utsatta läge för översvämning. Figur 3 redogör för att sökresultatet till största del handlar om översvämningar och regn i städer. Människor och osäkerhet förekommer inte alls i lika stor omfattning vilket kan styrka uppfattningen om att forskning kring risk i en dagvattenkontext inte i första hand fokuserar på hur människor påverkas av framtida osäkerhet. Riskbegreppet i en dagvattenkontext fokuserar på urban översvämning. Tabell 2 belyser hur antalet artiklar på sökordet *flood risk management* har ökat de senaste decennierna vilket tyder på att intresset för att hantera översvämningssrisker har ökat mycket.

Hur definieras risk

Litteraturstudien visar att riskbegreppet beskrivs på olika sätt. Många artiklar lyfter endast fram risk som produkten av sannolikheten att ett hot ska inträffa och dess konsekvens medan andra går in på att det krävs fler faktorer för att beräkna risk, såsom exponering och sårbarhet. Även mer avancerade ekvationer förekommer för att bestämma riskens omfattning. Riskindex är ett sätt att utvärdera risker och används för att ta välgrundade beslut. Tydligare än så beskrivs sällan riskbegreppet i de artiklar som valdes ut för studien. Det är tydligt att risk i en dagvattenkontext är synonymt med översvämningar och de skador som översvämningarna för med sig. Det nämns sällan några andra konsekvenser. Detta kan bero på valet av sökord och kombinationerna av de olika sökblocken. Kombinationen av risk, dagvattensystem, dimensionering och klimatförändringar utesluter riskbegreppet i andra sammanhang. För att få en tydligare bild av endast definitionen av risk kunde en separat sökning gjorts där dagvattensystem och dimensionering hade uteslutits. För studiens syfte, att undersöka hur riskbegreppet används i en dagvattenkontext och hur man tar hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten i olika delar av världen, är sökkombinationen dock lämplig och utelämnar irrelevanta sökresultat. Risk är ett väldigt brett begrepp och sökningen på enbart risk gav 5 729 166 träffar.

Det var svårt att hitta information kring hur konsekvenser till följd av översvämningar värderas ekonomiskt. Några artiklar har kvantifierat konsekvenser i form av skadekostnader. Genom att göra en ekonomisk utvärdering av kostnader för översvämningsskador kan ett enhetspris sättas per översvämmat hus som exempelvis i Q Zhou et al (2012) studie. Likaså kan en anpassningskostnad för att reducera översvämningsskadorna och insparade skadekostnader beräknas. Figur 7 redogör för skadekostnader i MDKK och hur dessa reducerades med hjälp av olika anpassningsåtgärder samt beslutskriterier. För till exempel fastigheter och källare var beslutskriterium D1 i kombination med ökat skydd av personliga tillgångar den åtgärd som sänkte skadekostnaderna mest. Denna typ av kostnadsberäkningar kan användas för att utvärdera riskreduktionen och jämföra åtgärds-kostnader med insparade skadekostnader. Figur 8 redovisar just jämförelsen mellan anpassningskostnad och insparade kostnader vid respektive åtgärd och olika beslutskriterium. Det kan utläsas ur figuren att anpassningskostnader för rörförstoring och infiltration är höga i förhållande till insparade kostnader medan skydd av personliga tillgångar har en lägre anpassningskostnad och en nästan lika stor insparad kostnad som de andra två åtgärderna.

Ovannämnda tillvägagångssätt skulle kunna ses som ett sätt att kvantifiera risk. Däremot säger annan forskning att det är svårt att kvantifiera förhållandet mellan risk och nederbörd eftersom det inte går att ta fram ett linjärt samband. Dock så har försök gjorts för att undersöka förhållandet mellan nederbörd och stadsbudgeten för översvämningssåtgärder. Om man jämför den gamla stadsbudgeten med den nya så har kostnaderna för översvämningshantering i Barcelona ökat med 147 % mellan 2006 och 2019. Det går även att sänka översvämningsskostnaderna genom investering i ledningsnätet. Genom att beräkna kostnader för översvämningsskador före och efter en investering i förbättrade dagvattensystem skulle det kunna sättas ett pris på risken. Det förekom dock väldigt få studier kring kvantifiering av risk och för att sätta ett konkret värde på risk så skulle fler liknande studier behöva genomföras.

Risk i dagligt tal innebär vanligtvis att det finns en risk för att en händelse med negativa konsekvenser inträffar. Att det blir extremväder som leder till enorma översvämningar skulle därför kunna uttryckas som en risk. Men litteraturstudien visar att extremväder istället utgör en liten del av den totala risken eftersom sannolikheten att det inträffar är så låg. Det är viktigt att se till helheten av begreppet risk som en definition av sannolikhet x konsekvens. Sannolikheten att ett extremväder inträffar är så pass låg att dess riskvärde inte blir större än ett kraftigt regn som inträffar ofta men inte får så stora konsekvenser. Den totala risken för dessa två händelser kan vara lika stora.

För att kunna utvärdera olika risker så krävs det att det sätts ett värde på konsekvensen, möjligtvis en skala på 1-5 som talar om allvaret av konsekvensen. Om olika beslutsfattare värderar konsekvenser olika så blir det svårt att bestämma risken på ett rättvist sätt. Något som är en förödande konsekvens för ett område är kanske inte lika förödande någon annanstans. Riskens värde är alltså beroende av beslutsfattarens ståndpunkt och värderingar.

Hur tar man hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät för dagvatten

På många håll i världen har det tagits hänsyn till risker på olika sätt när man dimensionerar ledningsnät för dagvatten. Många pratar om ett riskbaserat angreppssätt och det är tydligt att risk finns med i beaktande vid dimensionering av ledningsnät. Det är dock inte konsekvent hur risker förknippade med översvämning ska hanteras. Även om det kan tänkas att ökade regnmängder kommer att medföra att befintliga ledningsnät för dagvatten inte håller så är inte det helt självklart om de ökade regnmängderna innebär att ledningsnäten är under- eller överdimensionerade. Utifrån Underwood et al. (2020) så behöver inte ökade regnmängder innebära att ledningsnäten är underdimensionerade. I vissa regioner behöver dimensionerna ökas till följd av ökade regnmängder och ibland behöver de minskas, det beror helt på vilken region man befinner sig i. Galiatsatou & Iliadis (2022) påvisade att rördimensionerna ökade utifrån de nya IDF-kurvorna.

Litteraturstudien visade att det är ett återkommande problem att många områden har ålderdomliga IDF-kurvor eller inga alls. Detta kan bero på att det tar lång tid att uppdatera och att det saknas resurser. Det är tydligt att det är ett stort problem med att uppdatera IDF-kurvor som används för att dimensionera ledningsnätet för dagvatten. Många artiklar uppmärksammar denna problematik och presenterar olika lösningar för att hantera problemet. Det är vanligt förekommande att försöka hitta tekniker för att ta fram IDF-kurvor på ett snabbt och billigt sätt för att på så vis förbygga risker. De analyserade artiklarna föreslår ofta verktyg som kan analysera historiska nederbördsdata eller klimatmodeller och använda det för att

förutspå framtidens nederbörd. Exempelvis WeatherShift flooding tool, riskanalysmetoder och extremvärdesteori (Bamm et al (2017), Medeiros de Saboia et al (2020), Galiatsatou & Iliadis (2022)). Gemensamt för många av dessa verktyg är att de underlättar arbetet för projektören som kan göra en bättre uppskattning av vilken dimension som ska väljas för ledningsnätet.

Det förekommer också ofta att man pratar om angreppssätt, strategier och beslutskriterium som tar hänsyn till framtida osäkerheter och risker (Underwood et al., 2020). Att prioritera var anpassningsåtgärder ska vidtas framgår av litteraturstudien vara ett stort bekymmer samt ofta kostsamt och tidskrävande. Litteraturstudien visade att en semiriskbaserad metod är kostnadseffektiv och kan sänka risknivån i olika områden. En kombination av hydraulik- och riskmodeller maximerar den hydrauliska prestandan samtidigt som risker för fel i systemet minimeras. Återigen är den gemensamma nämnaren för litteraturstudiens resultat att ta fram metoder och modeller som underlättar för projektörer att välja optimala anpassningsåtgärder.

Att man ska ta hänsyn till framtida klimatosäkerheter är vedertaget men hur infrastruktur ska anpassas för att ta hänsyn till risker är oklart. Det pratas mycket om att begränsa översvämningar men hur man ska hantera bristande infrastruktur som påverkar människor verkar variera. Det framgår av Kim et al. (2017) att en "safe-to-fail" infrastruktur i en stad inte är det i en annan. Tanken med "safe-to-fail" är att minimera konsekvenserna om ett system brister istället för att fokusera på att brister ska undvikas, "fail-safe". Här har man förstått att systemet förr eller senare kan komma att brista på grund av den oklara framtiden och om det sker vill man se till så att det inte för stora konsekvenser. "Safe-to-fail"-metoden har ett annat förhållningssätt till risk än den tidigare metoden "fail-safe". Detta tyder på att risk betraktas på ett annat sätt än tidigare. Det nya synsättet är att det inte går att utesluta risk helt och att ett sätt att ta hänsyn till risk är förebyggande åtgärder för om det värsta inträffar.

Hur kan risk reduceras

Flertalet metoder för att reducera risk påträffades i litteraturstudien. Ett stort antal artiklar behandlade just LID (*low impact development*) och SUDS (*sustainable urban drainage system*) som ett sätt att fördröja dagvattenavrinningen vilket kan tänkas vara en riskreducerande faktor. Li et al (2019) visade dock att dessa gröna lösningar inte är de mest effektiva för att reducera översvämningar. Lagringstankar är effektivare men dyrare att installera. Studien är ett exempel på hur man kan använda jämförelser mellan konstruktionskostnad och reduceringseffektivitet för att bestämma vilken dagvattenhanteringslösning som ska väljas. Det är tydligt att åtgärder för att hantera risk ofta landar i en ekonomisk fråga där den effektivaste åtgärden ofta är den dyraste och att det blir en fråga om vart åtgärden är mest prioriterad.

Moore et al. (2016) resultat visade att dagvattensystem vanligtvis inte är utformade för att hantera klimatosäkerhet. Det gamla ledningsnätet i Hiwatha var känsligare för ökad nederbörd än det nyare systemet i Victoria vilket tyder på att det krävs anpassningsmetoder som är platsbestämda och att ingen generell metod för att hantera osäkerheter kan antas.

Bättre kommunikation kan vara en bra åtgärd för att förebygga risk för människor i ett översvämningssdrabbat område. Det är inte alltid säkert att människor är införstådda med vilka risker som finns i området de bor i. Okunskap anses vara ett problem och något som behöver tas i beaktning vid riskhantering. Att ta hänsyn till människors socioekonomiska status är en

utmaning och kräver större investeringar i bättre dagvattensystem där det bor fattiga människor för att skydda dem. Dock är kanske just dessa områden de minst prioriterade.

5.1 Metodkritisk diskussion

Litteraturstudien som gjordes för detta arbete hade kunnat utvecklas med fler sökord och sökkombinationer. Urvalet av artiklar som användes för arbetets resultat gjordes utifrån en bedömning av de 180 artiklarnas abstract där 59 artiklar ansågs vara relevanta för studien, 40 stycken någorlunda relevanta, 78 stycken ej relevanta och 3 stycken dubletter. Utifrån de relevanta artiklarna ansågs 25 stycken vara extra relevanta och användes för studiens resultat. Denna bedömning är baserad på lite information som kan ha varit missvisande. Artiklar av relevans för studien kan ha missats på grund av att abstractet tolkats fel. På grund av kandidatarbetets begränsning kunde inte fler artiklar behandlas. För ett bättre resultat borde fler artiklar läst igenom i full text.

Arbetets överförbarhet och pålitlighet är god då metodiken har beskrivits i detalj och det fullständiga sökprotokollet har lagts som bilaga. För bättre pålitlighet kunde det beskrivits mer i detalj hur urvalsprocessen gick till; varför artiklar valdes bort och på vilka villkor. Egna åsikter har undvikits genom arbetet för att upprätthålla studiens trovärdighet.

6 Avslutning

6.1 Slutsats

Det krävs en förståelse för att framtiden är oviss och att de tidigare beräknade dimensionerna för dagvattensystem kan komma att ändras. Många dagvattensystem är idag fortfarande dimensionerade efter traditionella ingenjörstekniska lösningar (Galindo-Calderon et al., 2015). Det vanligaste sättet att dimensionera ledningsnät för dagvatten är att utgå från deterministiska antagande, det vill säga hårda siffror såsom återkomsttid. Urbana dagvattensystem som dimensioneras efter exempelvis en 10-års återkomsttid har begränsad hydraulisk kapacitet, vart tionde år räknar man med att det kommer att bli översvämning och tar alltså en risk (Soerensen & Emilsson, 2019). Det tas för närvarande inte så stor hänsyn till dagvattensystemets komplexitet och framtida förändringar i avrinningsområdets hydrologi (Haghighatafshar et al., 2020). I framtiden krävs det en annan dimensioneringsstrategi där man kollar mer på hur bebyggelse och människor påverkas av de risker som tas och hur lång återhämtningstiden är för de drabbade. Om man planerar utifrån ett 10-årsregn, det vill säga att var 10:e år räknar man med att en översvämning kommer att inträffa, så innebär det konkret att man är beredd att riskera att familjers hem och arbeten kommer att översvämmas vart 10:e år. Det kan innebära att en egenföretagares lilla verksamhet översvämmas och tvingas gå i konkurs. Det är enskilda människor som får ta smällen av översvämningarna när dagvattensystemen dimensioneras utan hänsyn till återhämtningstid för de drabbade (Haghighatafshar et al., 2020).

Studiens huvudsakliga slutsats i korta drag:

- Risk beskrivs vanligtvis som sannolikheten att ett regn ska inträffa (återkomsttid) multiplicerat med konsekvensen (översvämning/skada) om det inträffar. Hot, exponering, sårbarhet och beslutfattarens preferens utgör även parametrar för att beskriva begreppet risk.
- Extremväder behöver inte innebära en större risk än ett normalkraftigt regn enligt studier gjorda i Danmark. Ett extremväder som inträffar sällan men får stora konsekvenser kan utgöra en lika stor risk som en regnhändelse som inträffar ofta med mindre konsekvenser. Det är därför viktigt att beakta sannolikheten och konsekvenserna av en regnhändelse.
- Strategier för att prioritera var anpassningsåtgärder ska vidtas hjälper beslutsfattare att ta optimala beslut och undvika risker. En viktig strategi för att ta hänsyn till risk är ”safe-to-fail” strategin som innebär att minska konsekvenserna om ett infrastruktursystem brister istället för att fokusera på att brister ska undvikas helt. Tidigare har fokus legat på att förhindra att risk uppstår, nu ligger fokus snarare på att förebygga skadorna av en konsekvens.
- Risk kan kvantifieras genom att jämföra översvämningsskostnader med mängden nederbörd. Kvantifiering av risk skulle kunna hjälpa beslutstagare att prioritera var åtgärder behöver genomföras. Projektörer behöver tydligare metoder för att välja optimala anpassningsåtgärder.
- Ökade regnmängder behöver inte innebära att ledningsnätet är underdimensionerat, det kan likväl vara överdimensionerat, enligt studier gjorda i USA. Större dimensioner för ledningsnät leder till ett ökat flöde till reservoaren vilket kan leda till ett negativt

uppåtgående vattenflöde och trycksättning i ledningarna om reservoaren inte kan hantera det ökade flödet.

- Uppdaterade IDF-kurvor är en viktig faktor för att kunna ta hänsyn till framtida risk. Det finns ett stort behov av att hitta tekniker för att förutspå framtida väder mer exakt och kunna utveckla och ta fram IDF-kurvor snabbare runt om i världen. Olika verktyg för att uppdatera IDF-kurvor har tagits fram runt om i världen. I USA har verktyget WeatherShift flooding tool tagits fram. I Grekland har ett verktyg baserat på extremvärdesteori tagits fram. I Brasilien har data från IPCC använts för att ta fram ett verktyg som kan användas för att uppskatta framtida nederbörd och således dimensionera hållbara dagvattensystem.
- Det finns ingen generell metod för att ta hänsyn till risk vid dimensionering av ledningsnät runt om i världen. En åtgärd som är lämplig på en plats behöver inte vara lämplig på en annan, åtgärderna måste därför anpassas efter platsen.
- För att reducera risker kopplade till dagvatten kan algoritmer och smart teknologi användas. I Iran kunde antal översvämmade områden och efterföljande skador minskas tack vare en algoritm som valde den bästa strategin för att förbättra dagvattensystemets prestanda. I Singapore användes en stokastisk optimeringsmodell för att göra avgöra vilken investering i dagvattensystemet som var den mest optimala. I Kina konstaterades det tack vare SWMM, som kan simulera avrinningens väg, att anpassning av dagvattensystemet är det mest effektiva för att reducera översvämningar.
- GIS är användbart för att kartlägga översvämningshotade områden och sårbarhetsrisker enligt studier i Etiopien. Områden längs floder är extra utsatta områden som kräver bättre dagvattensystem och flodbankar för att reducera översvämningriskerna.

6.2 Förslag för vidare studier

Det vore intressant att undersöka ”safe-to-fail”-strategin och hur den skulle kunna appliceras på samma sätt i olika städer vid vidare forskning.

Litteraturstudien visade att smart teknologi kan användas för att reducera risk för brister i dagvattensystem. Det var dock endast ett fåtal artiklar som berörde detta område vilket kan tyda på att det inte forskats lika mycket på AI i en dagvattenkontext. Detta skulle vara intressant för vidare forskning.

Ett annat förslag för vidare forskning är att undersöka hur man tar hänsyn till människors socioekonomiska status vid planering för dagvattensystem. Litteraturstudien kunde ana att vissa områden är mer prioriterade än andra när anpassningsåtgärder planeras men det var endast fanns ett fåtal studier som tog upp det. Det skulle behöva göras fler studier kring frågan för att se om det verkligen är så.

Genom hela arbetet kände jag att det var svårt att hitta det jag letade efter. Det skulle kunna förklaras av att det kanske inte finns så mycket forskning kring min forskningsfråga vilket således skulle vara intressant för vidare forskning och forska vidare på genom en större undersökning än detta kandidatarbete.

Tack

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare Salar Haghghatafshar och Sara Roth som har tagit sig tid att träffas regelbundet för att diskutera frågor och varit ett stort stöd genom hela arbetet. Jag vill även tacka familj och vänner som har kommit med goda råd och stöd hemifrån.

Bilagor

Bilaga 1 – sökmatriser

Tabell 1 - aspekter och sökord

Aspekt	Risk (risk)	Ledningsnät för dagvatten (stormwater drainage networks)	Klimatförändring (climate change)	Dimensionering (dimensioning)
Alternativa former/förkortningar		<ul style="list-style-type: none"> "urban drainage system" "urban drainage network" "storm water system" "stormwater system" "storm water network" "stormwater network" "storm drain network" "drainage infrastructure" 	<ul style="list-style-type: none"> "climate change adaption" "climate adaption" 	<ul style="list-style-type: none"> design sizing "has been sized"
Synonymer	hazard*		"pluvial flood"	<ul style="list-style-type: none"> construction* planning "structure optimization method" "optimization" "network analysis"
Bredare termer		<ul style="list-style-type: none"> "pipeline" "critical infrastructure" "ageing infrastructure" 	"adaption strategies"	<ul style="list-style-type: none"> "stormwater management" "storm water management" "stormwater planning" "storm water planning" "optimizing infrastructure capacity design"
Smalare termer	<ul style="list-style-type: none"> "risk management" "risk based decision" "risk analys" "risk reduction" "risk assessment" "planning for risk-based adaption" 	<ul style="list-style-type: none"> "green stormwater infrastructure (GSI)" "sustainable drainage systems" 		<ul style="list-style-type: none"> "infrastructure planning" "infrastructure design" "design of urban stormwater drainage infrastructure" "urban drainage planning" "drainage system design" "design of urban drainage" "urban drainage infrastructure design" "stormwater system design" "urban stormwater planning"

Tabell 1 – detaljerad redovisad sökning

Databas: Web of Science	Sökord	Begränsningar (filter, limits, refine)	Antal träffar
Datum: 2023-05-18			
Ursprunglig sökning			
#1	risk	Inga	5 729 166
#2	"risk management"	Inga	120 491
#3	"risk based decision*"	Inga	987
#4	"risk-based adap*"	Inga	33
#5	"risk analys*"	Inga	91 748
#6	"risk reduction*"	Inga	77 589
#7	"risk assesment*"	Inga	422
#8	hazard*	Inga	784 665
#9	"stormwater drainage network*"	Inga	33
#10	"storm water drainage network*"	Inga	16
#11	"urban drainage*"	Inga	3 209
#12	"storm water system*"	Inga	10
#13	"stormwater system*"	Inga	420
#14	"storm water network*"	Inga	27
#15	"stormwater network*"	Inga	74
#16	"storm drain network*"	Inga	13
#17	"drainage infrastructure*"	Inga	341
#18	"ageing infrastructure*"	Inga	185
#19	"green stormwater infrastructure*"	Inga	228
#20	"sustainable drainage system*"	Inga	315
#21	"climate change*"	Inga	490 160
#22	"climate change adapt*"	Inga	11 297
#23	"climate adapt*"	Inga	5 874
#24	"pluvial*"	Inga	9 619
#25	"adaption strateg*"	Inga	386
#26	design*	Inga	8 343 184
#27	siz*	Inga	5 183 376
#28	"structure optimization method"	Inga	114
#29	"optimiz*"	Inga	2 616 103
#30	"infrastructure capacity design"	Inga	1
#31	"infrastructure planning"	Inga	2 107
#32	"infrastructure design"	Inga	1 379
#33	"design of urban stormwater"	Inga	21
#34	"urban drainage planning"	Inga	23
#35	"drainage system design"	Inga	205
#36	"design of urban drainage"	Inga	61
#37	"urban drainage infrastructure design"	Inga	3
#38	"stormwater system design"	Inga	6
#39	"urban stormwater planning"	Inga	10
#40	#1... OR #8	Inga	6 142 876
#41	#9... OR #20	Inga	4 468
#42	#21... OR #24	Inga	500 794
#43	#25... OR #39	Inga	14 435 054
#44	#40... AND #43	Inga	180

Tabell 2 - sökprotokoll

No	Description	Items found
1 <i>risk</i>	TOPIC: (risk OR "risk management" OR "risk-based decision*" OR "risk-based adap*" OR "risk analys*" OR "risk reduction*" OR "risk assesment*" OR hazard*)	6 142 876
2 <i>ledningsnät dagvatten</i>	TOPIC: ("stormwater drainage network*" OR "storm water drainage network*" OR "urban drainage*" OR "storm water system*" OR "stormwater system*" OR "storm water network*" OR "stormwater network*" OR "storm drain network*" OR "drainage infrastructure*" OR "ageing infrastructure*" OR "green stormwater infrastructure*" OR "sustainable drainage system*")	4 468
3 <i>klimat-förändring</i>	TOPIC: ("climate change*" OR "climate change adapt**" OR "climate adapt*" OR "pluvial*")	500 794
4 <i>dimensionering</i>	TOPIC: ("adaption strateg*" OR design* OR siz* OR "structure optimization method" OR "optimiz*" OR "infrastructure capacity design" OR "infrastructure planning" OR "infrastructure design" OR "design of urban stormwater" OR "urban drainage planning" OR "drainage system design" OR "design of urban drainage" OR "urban drainage infrastructure design" OR "stormwater system design" OR "urban stormwater planning")	14 435 054
5	#1 AND #2 AND #3 AND #4	180

Bilaga 2 – utvalda artiklar

Tabell 3 - utvalda artiklar för studiens resultat

Authors	Article Title
Altami, Sulaiman Ahmed; Salman, Baris	Implementation of IoT-Based Sensor Systems for Smart Stormwater Management
Moore, Trisha L.; Gulliver, John S.; Stack, Latham; Simpson, Michael H.	Stormwater management and climate change: vulnerability and capacity for adaptation in urban and suburban contexts
Zhou, Q.; Halsnaes, K.; Arnbjerg-Nielsen, K.	Economic assessment of climate adaptation options for urban drainage design in Odense, Denmark
Kim, Yeowon; Eisenberg, Daniel; Bondank, Emily; Chester, Mikhail; Mascaro, Giuseppe; Underwood, Shane	Safe-to-Fail Climate Change Adaptation Strategies for Phoenix Roadways under Extreme Precipitation
Medeiros de Saboia, Marcos Abilio; de Souza Filho, Francisco de Assis; Helfer, Fernanda; Rolim, Larissa Zaira Rafael	Robust Strategy for Assessing the Costs of Urban Drainage System Designs under Climate Change Scenarios
Zhou, Q.; Mikkelsen, P. S.; Halsnaes, K.; Arnbjerg-Nielsen, K.	Framework for economic pluvial flood risk assessment considering climate change effects and adaptation benefits
Bamm, Mathew; Dickinson, Robert; King, Courtney; Thrasher, Bridget	WeatherShift Water Tools: Risk-Based Resiliency Planning for Drainage Infrastructure Design and Rainfall Harvesting
Li, Jiada; Tao, Tao; Kreidler, Mason; Burian, Steven; Yan, Hexiang	Construction Cost-Based Effectiveness Analysis of Green and Grey Infrastructure in Controlling Flood Inundation: A Case Study
Underwood, B. Shane; Mascaro, Giuseppe; Chester, Mikhail, V; Fraser, Andrew; Lopez-Cantu, Tania; Samaras, Constantine	Past and Present Design Practices and Uncertainty in Climate Projections are Challenges for Designing Infrastructure to Future Conditions
Cai, Xiatong; Shirkhani, Hamidreza; Mohammadian, Abdolmajid	Risk-Informed Framework for Sewerage System Rehabilitation Management
Galiatsatou, Panagiota; Iliadis, Christos	Intensity-Duration-Frequency Curves at Ungauged Sites in a Changing Climate for Sustainable Stormwater Networks
Mamo, Thewodros G.	Evaluation of the Potential Impact of Rainfall Intensity Variation due to Climate Change on Existing Drainage Infrastructure
Schmitt, Theo G.; Scheid, Christian	Evaluation and communication of pluvial flood risks in urban areas
Karamouz, Mohammad; Hosseinpour, Ana; Nazif, Sara	Improvement of Urban Drainage System Performance under Climate Change Impact: Case Study
Yu, Jianjun; Qin, Xiaosheng; Chiew, Yee Meng; Min, Rui; Shen, Xiling	Stochastic Optimization Model for Supporting Urban Drainage Design under Complexity
Zhou, Qianqian; Leng, Guoyong; Huang, Maoyi	Impacts of future climate change on urban flood volumes in Hohhot in northern China: benefits of climate change mitigation and adaptations
Ortiz, Alejandro; Velasco, Maria Jose; Esbri, Oscar; Medina, Vicente; Russo, Beniamino	The Economic Impact of Climate Change on Urban Drainage Master Planning in Barcelona
Bibi, Takele Sambeto; Tekesa, Nebiyu Waliyi Haghghatafshar, Salar; Becker, Per; Moddemeyer, Steve; Persson, Andreas; Sorensen, Johanna; Aspegren, Henrik; Jonsson, Karin	Impacts of climate change on IDF curves for urban stormwater management systems design: the case of Dodola Town, Ethiopia
Hassan, Bassma Taher; Yassine, Mohamad; Amin, Doaa	Paradigm shift in engineering of pluvial floods: From historical recurrence intervals to risk-based design for an uncertain future
Hassan, Bassma Taher; Yassine, Mohamad; Amin, Doaa	Comparison of Urbanization, Climate Change, and Drainage Design Impacts on Urban Flashfloods in an Arid Region: Case Study, New Cairo, Egypt
Pudyastuti, Purwanti Sri; Nugraha, Nurmuntaha Agung	Climate Change Risks to Infrastructures: A General Perspective
Weday, Mohammed Abdella; Tabor, Kenate Worku; Gemeda, Dessalegn Obsi	Flood hazards and risk mapping using geospatial technologies in Jimma City, southwestern Ethiopia.
Salinas-Rodriguez, Carlos; Gersonius, Berry; Zevenbergen, Chris; Serrano, David; Ashley, Richard	A Semi Risk-Based Approach for Managing Urban Drainage Systems under Extreme Rainfall
Bayas-Jimenez, Leonardo; Javier Martinez-Solano, F.; Iglesias-Rey, Pedro L.; Boano, Fulvio	Economic Analysis of Flood Risk Applied to the Rehabilitation of Drainage Networks

Referenser

- Almeida, M. d. C., Telhado, M. J., Morais, M., Barreiro, J., & Lopes, R. (2020). Urban resilience to flooding: Triangulation of methods for hazard identification in urban areas. *Sustainability*, *12*(6), 2227.
- Altami, S. A., & Salman, B. (2022). Implementation of IoT-Based Sensor Systems for Smart Stormwater Management [Article]. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, *13*(3), Article 05022004. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ps.1949-1204.0000647](https://doi.org/10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000647)
- Axelsson, C., Giove, S., Soriani, S., & Culligan, P. J. (2021). Urban pluvial flood management part 2: Global perceptions and priorities in urban stormwater adaptation management and policy alternatives [Article]. *Water (Switzerland)*, *13*(17). <https://doi.org/10.3390/w13172433>
- Bamm, M., Dickinson, R., King, C., & Thrasher, B. (2017). WeatherShift Water Tools: Risk-Based Resiliency Planning for Drainage Infrastructure Design and Rainfall Harvesting. World Environmental and Water Resources Congress 2017,
- Bayas-Jiménez, L., Martínez-Solano, F. J., Iglesias-Rey, P. L., & Boano, F. (2022). Economic Analysis of Flood Risk Applied to the Rehabilitation of Drainage Networks. *Water*, *14*(18), 2901.
- Berndtsson, R., Becker, P., Persson, A., Aspegren, H., Haghhighatafshar, S., Jönsson, K., Larsson, R., Mobini, S., Mottaghi, M., Nilsson, J., Nordström, J., Pilesjö, P., Scholz, M., Sternudd, C., Sörensen, J., & Tussupova, K. (2019). Drivers of changing urban flood risk: A framework for action [Article]. *Journal of Environmental Management*, *240*, 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.094>
- Bibi, T. S., & Tekesa, N. W. (2023). Impacts of climate change on IDF curves for urban stormwater management systems design: the case of Dodola Town, Ethiopia [Article]. *Environmental Monitoring and Assessment*, *195*(1), Article 170. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10781-7>
- Cai, X., Shirkhani, H., & Mohammadian, A. (2021). Risk-Informed Framework for Sewerage System Rehabilitation Management [Article]. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, *12*(2), Article 04020075. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ps.1949-1204.0000525](https://doi.org/10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000525)
- Caretta, A. M. M. A., Arfanuzzaman, R. B. M., Morgan, S. M. R., & Kumar, M. (2022). Water. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Galiatsatou, P., & Iliadis, C. (2022). Intensity-Duration-Frequency Curves at Ungauged Sites in a Changing Climate for Sustainable Stormwater Networks [Article]. *Sustainability*, *14*(3), Article 1229. <https://doi.org/10.3390/su14031229>
- Galindo-Calderon, R., Cano, C., Sanchez, A., Vojinovic, Z., & Brdjanovic, D. (2015). Selecting optimal sustainable drainage design for urban runoff reduction. E-proceedings of the 36th IAHR World Congress,
- Haghhighatafshar, S., Becker, P., Moddemeyer, S., Persson, A., Sörensen, J., Aspegren, H., & Jönsson, K. (2020). Paradigm shift in engineering of pluvial floods: From historical recurrence intervals to risk-based design for an uncertain future [Article]. *Sustainable Cities and Society*, *61*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102317>
- Hassan, B. T., Yassine, M., & Amin, D. (2022). Comparison of Urbanization, Climate Change, and Drainage Design Impacts on Urban Flashfloods in an Arid Region: Case Study, New Cairo, Egypt [Article]. *Water*, *14*(15), Article 2430. <https://doi.org/10.3390/w14152430>

- Karamouz, M., Hosseinpour, A., & Nazif, S. (2011). Improvement of Urban Drainage System Performance under Climate Change Impact: Case Study [Article]. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(5), 395-412. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000317](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000317)
- Kim, Y., Eisenberg, D. A., Bondank, E. N., Chester, M. V., Mascaro, G., & Underwood, B. S. (2017). Fail-safe and safe-to-fail adaptation: decision-making for urban flooding under climate change. *Climatic Change*, 145(3), 397-412. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2090-1>
- Klijn, F., Kreibich, H., De Moel, H., & Penning-Rowsell, E. (2015). Adaptive flood risk management planning based on a comprehensive flood risk conceptualisation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20, 845-864.
- Li, J., Tao, T., Kreidler, M., Burian, S., & Yan, H. (2019). Construction cost-based effectiveness analysis of green and grey infrastructure in controlling flood inundation: A case study. *Journal of Water Management Modeling*.
- Lindström, V. (2020). *Vårt vatten, grundläggade lärobok i vatten- och avloppsteknik*. Svenskt Vatten AB.
- Medeiros de Saboia, M. A., de Souza Filho, F. d. A., Helfer, F., & Rolim, L. Z. R. (2020). Robust Strategy for Assessing the Costs of Urban Drainage System Designs under Climate Change Scenarios [Article]. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(11), Article 05020022. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0001281](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0001281)
- Moore, T. L., Gulliver, J. S., Stack, L., & Simpson, M. H. (2016). Stormwater management and climate change: vulnerability and capacity for adaptation in urban and suburban contexts [Article]. *Climatic Change*, 138(3-4), 491-504. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1766-2>
- Ortiz, A., Velasco, M. J., Esbri, O., Medina, V., & Russo, B. (2021). The Economic Impact of Climate Change on Urban Drainage Master Planning in Barcelona [Article]. *Sustainability*, 13(1), Article 71. <https://doi.org/10.3390/su13010071>
- Pudyastuti, P. S., & Nugraha, N. A. (2017, 2018 Dec 13-14). Climate Change Risks to Infrastructures: A General Perspective. *AIP Conference Proceedings* [Human-dedicated sustainable product and process design: Materials, resources, and energy]. 4th International Conference on Engineering, Technology, and Industrial Application (ICETIA), Surakarta, INDONESIA.
- Punt, E., Monstadt, J., Frank, S., & Witte, P. (2022). Beyond the dikes: an institutional perspective on governing flood resilience at the Port of Rotterdam. *Maritime Economics & Logistics*, 1-19.
- Plan- och bygglag (SFS 2010:900), (2010). <https://rkrattsbaser.gov.se/sfst?bet=2010:900>
- Rezende, O. M., de Oliveira, A. K. B., Miranda, F. M., Jacob, A. C. P., de Sousa, M. M., & Miguez, M. G. (2020). Mapping the flood risk to Socioeconomic Recovery Capacity through a multicriteria index. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120251.
- Saldarriaga, J., Salcedo, C., Solarte, L., Pulgari'n, L., Rivera, M. L., Camacho, M., Iglesias-Rey, P. L., Martí'nez-Solano, F. J., & Cunha, M. (2020). Reducing Flood Risk in Changing Environments: Optimal Location and Sizing of Stormwater Tanks Considering Climate Change. *Water*, 12(9), 2491. <https://doi.org/10.3390/w12092491>
- Salinas-Rodríguez, C., Gersonius, B., Zevenbergen, C., Serrano, D., & Ashley, R. (2018). A Semi Risk-Based Approach for Managing Urban Drainage Systems under Extreme Rainfall [Article]. *Water*, 10(4), Article 384. <https://doi.org/10.3390/w10040384>
- Sayers, P., Yuanyuan, L., Galloway, G., Penning-Rowsell, E., Fuxin, S., Kang, W., Yiwei, C., & Le Quesne, T. (2013). Flood risk management: A strategic approach. In: Asian Development Bank, GIWP, UNESCO and WWF-UK.

- Schmitt, T. G., & Scheid, C. (2020). Evaluation and communication of pluvial flood risks in urban areas [Article]. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Water*, 7(1), Article e1401. <https://doi.org/10.1002/wat2.1401>
- Soerensen, J., & Emilsson, T. (2019). Evaluating Flood Risk Reduction by Urban Blue-Green Infrastructure Using Insurance Data [Article]. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(2), Article 04018099. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0001037](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0001037)
- SvensktVatten. (2019). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten : funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem ; publikation P110*. Svenskt vatten.
- Underwood, B. S., Mascaro, G., Chester, M. V., Fraser, A., Lopez-Cantu, T., & Samaras, C. (2020). Past and Present Design Practices and Uncertainty in Climate Projections are Challenges for Designing Infrastructure to Future Conditions [Article]. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(3), Article 04020026. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000567](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000567)
- Wall, K. D. (2011). The trouble with risk matrices. *Naval Postgraduate School (DRMI) Working Paper*.
- Weday, M. A., Tabor, K. W., & Gameda, D. O. (2023). Flood hazards and risk mapping using geospatial technologies in Jimma City, southwestern Ethiopia [Article]. *Heliyon*, 9(4), Article e14617. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14617>
- Yu, J., Qin, X., Chiew, Y. M., Min, R., & Shen, X. (2017). Stochastic Optimization Model for Supporting Urban Drainage Design under Complexity [Article]. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(9), Article 05017008. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000806](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000806)
- Zhou, Q., Halsnæs, K., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2012). Economic assessment of climate adaptation options for urban drainage design in Odense, Denmark. *Water Science & Technology*, 66(8).
- Zhou, Q., Leng, G., & Huang, M. (2018). Impacts of future climate change on urban flood volumes in Hohhot in northern China: benefits of climate change mitigation and adaptations [Article]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 305-316. <https://doi.org/10.5194/hess-22-305-2018>
- Zhou, Q., Mikkelsen, P. S., Halsnaes, K., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2012). Framework for economic pluvial flood risk assessment considering climate change effects and adaptation benefits [Article]. *Journal of Hydrology*, 414, 539-549. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.031>
- Zhou, Y., & Wu, X. (2023). Identification of priority areas for green stormwater infrastructure based on supply and demand evaluation of flood regulation service [Article]. *Environmental Development*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100815>

