

Klimatanpassning av infrastruktur Genomgång av pågående svensk forskning och identifiering av FoU-behov

JOHAN SILFWERBRAND

2023



Klimatanpassning av infrastruktur – Genomgång av pågående svensk forskning och identifiering av FoU-behov

Johan Silfwerbrand

TRITA-ABE-RPT- 2321

©Johan Silfwerbrand
KTH Bygghälsa
Avdelningen för Betongbyggnad
Stockholm, 2023

Förord

Översvämningar i Göteborg, Västerås, Åre och Örebro under sensommaren 2023 och skredet vid E6 i Stenungsund i september samma år är exempel på händelser som kraftigt påverkar samhället. De kan men behöver inte vara resultatet av klimatförändringar men sådana händelser riskerar att bli vanligare och ännu kraftigare i takt med att klimatförändringarna förvärras. Vad som är orsaken till dessa händelser är egentligen mindre intressant, viktigare är hur vi skall kunna skydda den byggda miljön, dess bebyggelse och dess infrastruktur från översvämningar, skred och ras, stormar, höga temperaturer, torka och skogsbränder. Vi ser att de skulle ha behövt skyddas bättre redan idag och ifall klimatförändringarna blir större kommer åtgärder att bli ännu mer angelägna.

Denna rapport handlar om hur vi genom ny forskning kan söka anpassa samhället och i synnerhet dess infrastruktur till klimatförändringarna.

Arbetet har finansierats av Vinnova genom det strategiska innovationsprogrammet *InfraSweden* och KTH genom dess *Climate Action Center*. Rapportförfattaren tackar för finansieringen. Jag vill också rikta ett speciellt tack till tekn. dr. Fredrick Lekarp, KTH, för kloka synpunkter på ett utkast till rapporten och till professor Fredrik Johansson, KTH, som inspirerat mig att söka medel för detta arbete.

Stockholm i september 2023

Johan Silfwerbrand

Innehåll

Sammanfattning.....	3
Summary	4
Syfte, avgränsningar & metod	5
Syfte.....	5
Avgränsningar	5
Metod	5
Introduktion	6
KTH.....	9
Trafikverket	10
Lunds tekniska högskola	14
Amro Nasrs avhandling	16
Chalmers & Luleå tekniska universitet	18
Chalmers	18
Luleå tekniska universitet.....	18
Forskning om klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor	20
Vattenkraften	22
Sveriges Kommuner och Regioner (SKR).....	23
Exemplet skyddsvall på Falsterbonäset.....	25
InfraSwedens utlysning ”Anpassning av transportinfrastrukturen för att möta klimatförändringar”...26	
Klimatanpassning.se.....	27
Förslag på fortsatt forskning	28
Slutsatser	31
Referenser.....	32

Sammanfattning

Klimatförändringarna är högst påtagliga. Sedan industrialismen startade kring 1800 har koldioxidhalten i atmosfären ökat från 280 till 420 ppm och den globala medeltemperaturen med drygt 1°C. Världens länder har i en serie avtal sökt enas kring olika klimatmål. Att temperaturökningen skall begränsas till 1,5°C är kanske det mest kända målet. För att nå målen krävs många åtgärder och bakom dessa ligger ofta omfattande forskning. Forskningen om klimatförändringar brukar indelas i minskning och anpassning eller *mitigation* och *adaptation* som de heter på det internationella forskningspråket. Hittills har forskningen för att minska klimatförändringarnas storlek kraftigt dominerat över forskningen för att anpassa samhället till klimatförändringar.

Betong är världens mest använda av människan tillverkade material och betongproduktionen (egentligen cementtillverkningen) står för 5-8 % av de globala CO₂-utsläppen varför det kan vara motiverat att exemplifiera hur forskningen förändrats över tid för att hantera klimatförändringar. I mitten av 1960-talet konstaterades att armerad betong inte har evig livslängd. Forskningen om beständig betong tog fart. Beständig betong har längre livslängd vilket gör att uttaget av naturresurser kan minskas vilket i sin tur är ett exempel på en åtgärd för att minska klimatförändringarna även om man inte formulerade sig så. Forskningen om att skapa miljövänligare cement och betong (eller en betong med lägre CO₂-utsläpp) inleddes på 1990-talet och har varit helt dominerande inom minskning sedan dess. Det handlar i första hand om att ersätta delar av cementet med olika industriella biprodukter (tillsatsmaterial) som annars skulle ha hamnat på deponi.

Allt mindre tyder på att vi kan stoppa klimatförändringarna. Det torde bli svårt att nå 1,5-gradersmålet och risk finns att den globala medeltemperaturen kommer att öka med mer än 2°C någon gång på 2100-talet. Då räcker det inte att satsa på minskning. Åtgärder för att anpassa samhället, dess byggda miljö och dess infrastruktur för klimatförändringarna kommer att bli nödvändiga. Konsekvenserna kan annars bli katastrofala.

Syftet med föreliggande projekt är att identifiera kunskapsluckor och forskningsbehov inom området infrastrukturens anpassning till klimatförändringar. Fokus har legat på svenska förhållanden och det var därför naturligt att i första hand studera vad som sker och skett inom de fyra stora tekniska högskolorna (Chalmers, KTH, LTH och LTU) samt inom Trafikverket, SKR och RISE. Arbetet har kompletterats med sökningar på Internet och i svensk nyhetsmedia.

En analys av pågående och nyss avslutad forskning inom klimatanpassning visar att anpassning omfattar många olika delar. I projektet har följande identifierats: inventering och begränsning av konsekvenser, ändrade laster, förutsättningar för nyproduktion, skyddsåtgärder, förstärkning och förflyttning. De tre sista är både mest konkreta och kanske också viktigast med tanke på att ett års nybyggnad enbart utgör knappt 1 % av den byggda miljön i vårt land. Många kommuner arbetar med dessa åtgärder men forskningen verkar i huvudsak handla om konsekvenser och nya förutsättningar inklusive laster. Rapporten avslutas med ett tiotal skarpa förslag på forskningsprojekt.

Summary

Climate change is highly visible. Since industrialism started around 1800, the carbon dioxide content in the atmosphere has increased from 280 to 420 ppm and the global average temperature by just over 1°C. In a series of agreements, the world's countries have sought to agree on various climate goals. That the temperature rise should be limited to 1.5°C is perhaps the most well-known goal. In order to reach the goals, many measures are required, and extensive research is often behind them. Research on climate change is usually divided into mitigation and adaptation. Until now, research to mitigate the magnitude of climate change has strongly dominated research to adapt society to climate change.

Concrete is the world's most used man-made material and concrete production (actually cement production) accounts for 5-8% of global CO₂ emissions, which is why it may be justified to exemplify how research has changed over time to deal with climate change. In the mid-1960s, it was established that reinforced concrete does not have an eternal lifespan. Research into durable concrete increased rapidly. Durable concrete has a longer life span reducing the extraction of natural resources, which is an example of a measure towards mitigation of climate change, even if it was not formulated that way. Research into creating more environmentally friendly cement and concrete (or a concrete with lower CO₂ emissions) began in the 1990s and has been completely dominant in mitigation ever since. It is primarily about replacing parts of the Portland cement with various industrial by-products (Supplementary Cementitious Materials, SCM) that would otherwise end up in landfill.

There is less and less evidence that we can stop climate change. It will probably be difficult to reach the 1.5 degree target and there is a risk that the global average temperature will increase by more than 2°C sometime in the 21st century. Spends on mitigation will not be sufficient. Measures to adapt society, its built environment and its infrastructure to climate change will be necessary. Otherwise, the consequences can be catastrophic.

The aim of the present project is to identify knowledge gaps and research needs in the area of infrastructure adaptation to climate change. The focus has been on Swedish conditions and it was therefore natural to primarily study what is happening and has happened within the four major technical universities (Chalmers, KTH Royal Institute of Technology, Faculty of Engineering at Lund University and Luleå Technical University) as well as within the Swedish Transport Administration, Swedish Association of Local Authorities and Regions (SKR) and Research Institutes of Sweden (RISE). The work has been supplemented with searches on the Internet and in Swedish news media.

An analysis of ongoing and recently completed research in climate adaptation shows that adaptation encompasses many different parts. In the project, the following have been identified: inventory and limitations of consequences, changed loads, prerequisite for new construction, increased monitoring, protection measures, strengthening and relocation. The last three are both the most concrete and perhaps the most important considering that a year's new construction alone constitutes just under 1% of the built environment in our country. Many Swedish municipalities are working on these measures, but the research seems mainly to be about consequences and prerequisite including revised loads. The report concludes with a dozen sharp suggestions for future research projects.

Syfte, avgränsningar & metod

Syfte

Syftet med projektet är att identifiera kunskapsluckor och forskningsbehov inom området infrastrukturens anpassning till klimatförändringar. Det förväntade resultatet är en serie prioriterade förslag till forskningsprojekt inom området.

Avgränsningar

Fokus ligger på svenska förhållanden. Eftersom författaren har sin hemvist inom betongbyggnad ligger litet mer tyngd på anknytning till betong än till andra byggmaterial. Betong är också det byggmaterial som används mest både i vårt land och globalt.

Metod

För att genomföra litteraturstudien har följande ingångar till information använts:

1. Kontakter med forskare inom Sveriges Bygguniversitet (ett nätverk inom samhällsbyggnadsområdet mellan Chalmers, KTH, Lunds tekniska högskola och Luleå tekniska universitet)
2. KTH:s *Climate Action Center*
3. Trafikverket
4. Sveriges Kommuner och Regioner
5. Utlysningar från *InfraSweden 2030*
6. Sökningar på Internet
7. Massmedia under projektets gång

Introduktion

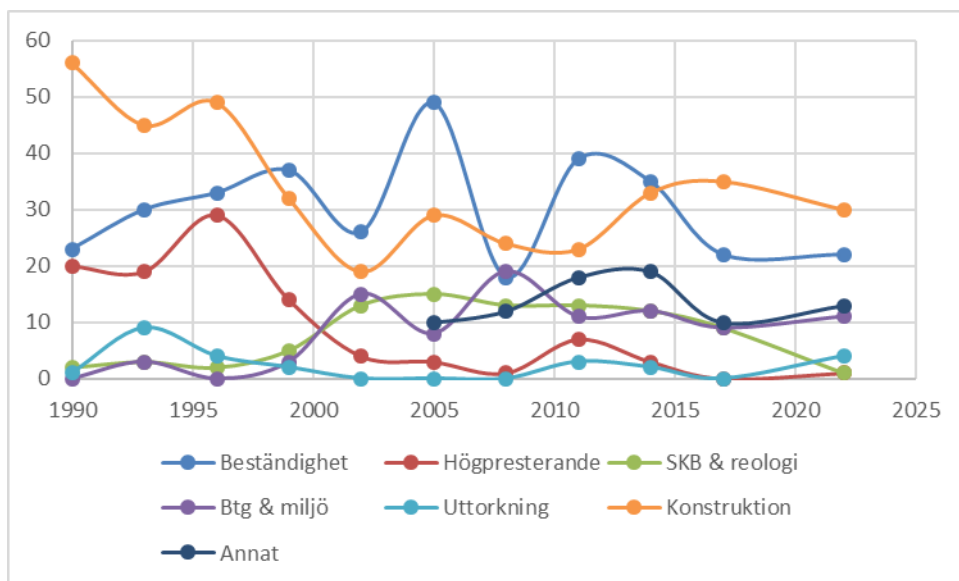
Den svenske fysikern och nobelpristagaren Svante Arrhenius publicerade redan 1896 ett verk där han sökt kvantifiera höjningen av den globala medeltemperaturen till följd av en fördubbling av koldioxidhalten i atmosfären. Sedan industrialismen startade har koldioxidhalten i atmosfären ökat från 280 till 420 ppm, inte en fördubbling men en 50-procentig ökning och ökningen fortsätter.

När författaren av dessa rader gick i gymnasiet på 1970-talet påpekade man att tiden mellan istiderna – mellanistiden – är mycket kortare än istiderna och att nästa istid skulle kunna komma hastigare än vad man tidigare förutspått. Man talade om oljekris och spekulerade i vilket år ”peak oil” skulle inträffa. (Årtalet har successivt skjutits fram.)

Betong är efter grus och sten det byggmaterial som används mest. Det kan därför vara motiverat att se på betongens roll när det gäller hållbarhet och klimatförändringar. Historiskt har många föreställt sig betong som ett material med mycket lång livslängd. Romerska betongkonstruktioner – där Pantheon är det förnämsta exemplet – står ju fortfarande kvar. De romerska betongkonstruktionerna är dock oarmerade och dessutom vanligast kring Medelhavet där klimatet är relativt gynnsamt för betong (minusgrader är sällsynta). På 1910-talet började armerad betong vinna terräng. Efter andra världskriget tog betongbyggande verklig fart. Lönerna steg och med dem arbetskraftskostnaderna. Tidens motto var ”slit och släng”. Men det skulle visa sig bli en dyrbar strategi då skadorna började dyka upp.

I Norden var man tidigt ute med forskning kring betongs beständighet, det handlade om både frost och armeringskorrosion. Bättre beständighet ger längre livslängd och därmed ökad hållbarhet. Det innebär i sin tur att det dröjer längre till dess man behöver ersätta broarna eller byggnaderna med nya med tillhörande uttag av naturmaterial och koldioxidutsläpp. Dvs. bättre beständighet bidrar till att minska klimatförändringarna. Men det var inte tanken på att bromsa klimatförändringarna som beständighetsforskningen bedrevs från 1960-talet och framåt utan möjligheter att spara pengar och minska trafikanters och brukares olägenheter med omfattande reparationer, rivningar och nya byggen.

Inom betongen arrangeras *Nordic Concrete Research Symposium* vart tredje år sedan 1953. En kategorisering av bidragen ger vid handen att beständighet har haft en fortsatt stark roll sedan 1990 och framåt (figur 1). Också inom kategorin ”Konstruktion” kan det finnas bidrag med fokus på optimering och längre livslängd och därmed bidra till en minskning av klimatförändringarna.



Figur 1: Kategorisering av bidragen till Nordic Concrete Research Symposium mellan 1990 och 2022.

Av figuren framgår också att de nordiska betongforskarna från millennieskiftet även började intressera sig för "Betong och miljö". Här liksom i många andra delar av världen har fokus legat på att minska portlandcementet i betongen eftersom tillverkningen av portlandcement ger stora koldioxidutsläpp. Det viktigaste medlet har här varit att ersätta delar av portlandcementet med industriella restprodukter som flygaska, slagg och silika som annars riskerat att hamna på deponi. Det handlar alltså om forskning för att minska klimatförändringarna.

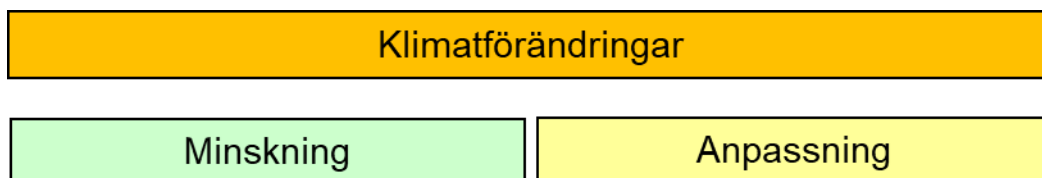
Den internationella forskningen om betong och hållbarhet har haft en väldig slagsida mot beständighet samt restmaterial och andra alternativa bindemedel och hur de påverkar betongens egenskaper i det färskta och hårdnade stadiet. År 2012 arrangerade Svenska Betongföreningen det årets fib-symposium (fib = *fédération internationale du béton*) med temat "Concrete Structures for Sustainable Community", vilket var första gången i fib:s historia med fokus på hållbarhet. En genomgång av de 142 bidragen visar att en stor majoritet (81 %) handlade om produktion av betong och betongkonstruktioner för bättre beständighet, mindre uttag av naturresurser och mindre CO₂-utsläpp medan enbart 19 % handlade om reparationer och olika möjligheter att utnyttja betongens goda egenskaper (brandmotstånd, termisk massa och återvinning) under bruksskedet. Ett (och endast ett) bidrag tog upp anpassning till klimatförändringar och angav ett par exempel (Silfwerbrand, 2016).

År 2009 fick rapportförfattaren från Konsortiet för finansiering av grundforskning inom betongområdet ett uppdrag att genomföra en litteraturstudie med rubriken "Klimatförändringarnas effekter på betong, betongkonstruktioner och betongbyggandet i Sverige". Arbetet resulterade i en rapport med samma namn två år senare (Silfwerbrand, 2011). Här beskrivs de två delarna av arbetet mot klimatförändringar: minskning resp. anpassning som på engelska kallas *mitigation* resp. *adaptation* eller *adaption* (där båda betyder samma sak men där det längre ordet, *adaptation*, är det vanligaste, figur 2).

I denna CBI-rapport (Silfwerbrand, 2011) identifieras några områden där betong kan ha en roll för att anpassa samhället för klimatförändringar:

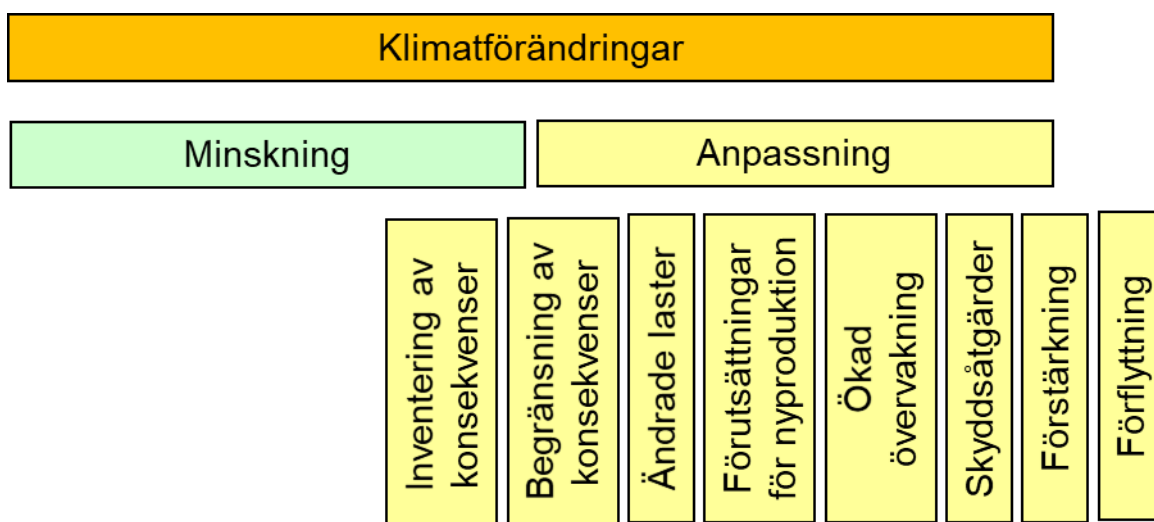
- Betong för ljusa tak och ljusa gatubeläggningar i städer för att minska den lokala temperaturhöjningen över omgivningen (s.k. "heat island effect").

- Vattengenomsläppliga betongbeläggningar för mindre belastning på dagvattenssystemet vid skyfall.
- Nya avloppsrör och magasin för att hantera skyfall.
- Markstabilisering.
- Ombyggnad av dammar.
- Översvämningsskydd av strandnära bebyggelse.



Figur 2: Forskning och åtgärder om resp. mot klimatförändringar indelas vanligen i minskning resp. anpassning.

Studerar man litteraturen om klimatanpassning finner man att området innehåller långt fler olika delar än vad man i förstone associerar det till. Kärnan i anpassning av infrastrukturen (eller samhället om man så vill) borde vara att skydda broar, vägar, hamnar, flygfält m.m. från klimatförändringarnas effekter såsom höjd temperatur, höjda havsvattennivåer, översvämningar, bränder och kraftigare vindlaster. Men litteraturen visar att klimatforskarna själva anser att även t.ex. inventering av konsekvenser, ändrade laster och ökad övervakning är exempel på åtgärder inom anpassning till klimatförändringar (figur 3).



Figur 3: Anpassning till klimatförändringar kan delas in i ett flertal undergrupper.

KTH

Under 2019 efterlyste KTH:s ledning idéer som skulle säljas in till presumtiva donatorer. KTH kallade detta ”*Cases for support*” men en svensk översättning skulle kunna vara donationsidéer. Närmare 100 förslag kom in. Ledningen valde ut ett 10-tal att gå vidare med. Bland dem fanns rapportförfattarens ”Anpassning till klimatförändringar”. Ytterligare tre idéer kring klimatförändringar gick vidare i processen. I februari 2020 kom pandemin och arbetet hamnade i malpåse. Under 2021 etablerade KTH ett nytt centrum *Climate Action Centre* som behandlar både minskning av och anpassning till klimatförändringar. Centrumet är brett och tvärvetenskapligt och spänner över hela KTH:s breda forskningsfält från naturvetenskap och teknik till samhällsvetenskap.

Den stora majoriteten av pågående projekt som på något sätt är knutna till centrumet fokuserar på minskning av klimatförändringarna. Men *Climate Action Centre* stöder också en handfull projekt inom anpassning, däribland föreliggande förstudie. Ett av de övriga projekten handlar om att identifiera hot mot Ghana och Bangladesh från klimatförändringarna. I ett annat projekt har forskarna identifierat de grupper av människor som förväntas bli mest utsatta i samband med en översvämning i staden. I ett tredje projekt diskuteras hur beslutsfattare skall kunna hantera de stora osäkerheter som är förknippade med de risker som klimatförändringarna skapar. Författaren av dessa rader skulle karakterisera dessa tre projekt som ”Inventering av konsekvenser” (figur 3).

Institutionen för byggvetenskap är den KTH-institution som ligger mest centralt vad gäller byggt teknik och tekniska frågor inom trafikinfrastrukturen och den byggda miljön. En genomgång av pågående forskning visar att nästan alla projekt har en koppling till hållbarhet men att projekt om anpassning till klimatförändringar är mycket sällsynta. Ett par undantag finns.

Klimatförändringar kan leda till både ökad och minskad nederbörd. Det senare fallet kan i sin tur orsaka grundvattensänkning som kan påverka grundläggning på jord. Detta studeras av docenten Johan Spross vid avdelningen för jord- & bergmekanik vid KTH genom livscykelkostnadsanalyser, probabilistiska metoder och beslutsteori (Spross m.fl., 2022). Med hjälp av dessa metoder kan olika förstärkningsmetoder jämföras.

I samverkan mellan avdelningen för hållbara byggnader vid KTH och *Hochschule für Technik und Wirtschaft* i Berlin bedrivs ett doktorandprojekt om dynamiska fasader. Syftet med projektet är att undersöka hur byggnaders isolering kan utformas för att på ett mer flexibelt sätt för att bemöta framtida klimatvariationer. Doktoranden heter André Badura (HTW Berlin) och professor Ivo Martinac (KTH) är huvudhandledare.

Trafikverket

EU antog en klimatanpassningsstrategi 2013. Två år senare antog FN Agenda 2030 med de 17 globala hållbarhetsmålen. Inget av målen apostroferar klimatanpassning i rubriken men ”Hållbar industri, innovationer och infrastruktur” (nr 9), ”Hållbara städer och samhällen” (11) samt ”Bekämpa klimatförändringarna” (13) tangerar anpassning till klimatförändringarna.

Trafikverkets arbete med klimatanpassning har pågått under de senaste tio åren. Sedan 2012 deltar Trafikverket i ett myndighetsnätverk för klimatanpassning, ett samarbete mellan 21 myndigheter och som drivs av SMHI. Två år senare tog Trafikverket fram en klimatanpassningsstrategi. Ytterligare två år senare (2016) antogs en handlingsplan innehållande 20 aktiviteter. Denna uppdaterades med en version 2 året därpå.

Trafikverkets klimatanpassningsstrategi består av tre delar:

1. Skapa förutsättningar för effektivt arbete med klimatanpassning.
2. Förebygga negativa följder av klimatets påverkan genom att skapa robusta anläggningar.
3. Hantera effekter av klimatets påverkan.

Den första delen handlar om ansvar och mandat för arbetet, kunskapsinhämtning, nationell och internationell samverkan, kunskapsspridning och inventering. Den andra delen handlar om att se över regelverken för nyproduktion, ombyggnad, underhåll och tillsyn så att de beaktar klimatförändringarna. Den behandlar även inventering av riskpunkter och risksträckor i väg- och järnvägsnäten och åtgärder mot systematiska brister. Den tredje delen handlar om hur Trafikverket skall hantera akuta effekter av klimatets påverkan, t.ex. krisberedskapsplanering, trafikinformation och omledning av trafik och övningar för sådana händelser.

I rapporten ”Regeringsuppdrag om Trafikverkets klimatanpassningsarbete” går författaren Eva Liljegren översiktligt igenom de klimatförändringar som bedöms som mest väsentliga för vårt land och vår trafikinfrastruktur. Hon nämner havsnivåhöjning, grundvattennivåförändringar, kraftig nederbörd och höga flöden, ökad medeltemperatur, värmebölja och torka samt brand. Tänkbara effekter på infrastrukturen sammanfattas i nedanstående tabell.

Tabell 1: Förväntade klimatförändringar och deras effekter på transportinfrastrukturen efter Trafikverket (2018)

Klimatförändring	Effekter på transportinfrastrukturen
Havsnivåhöjning	<ul style="list-style-type: none"> • Havsvatten tränger in i tunnlar. • Öar blir avskurna från fastlandet. • Väg- & järnvägssträckor blir översvämmade. • Färjor får problem att angöra färjelägen.
Grundvattennivåförändring	<ul style="list-style-type: none"> • Markstabiliteten kan försämrans & skada grundläggningen.
Kraftig nederbörd & höga flöden	<ul style="list-style-type: none"> • Risken för erosion, bortspolning, översvämning, ras & skred ökar. • Slamströmmar kan sätta igen trummor som i sin tur kan leda till att väg- & banvallar spolats bort. • Tunnlar är utsatta ifall dräneringssystem & pumpar inte kan hantera stora vattenflöden.
Ökad medeltemperatur	<ul style="list-style-type: none"> • Avdunstningen ökar vilket ger mer nederbörd. • Tjälperioden förkortas vilket leder till problem för skogsindustrin & dess tillgång till vägar med hög bärförmåga under vintern. • Fler nollgenomgångar vilket kan ge skador på beläggningen & ökad halkrisk. • Ökad användning av tölsalter i delar av Sverige. • Isvägar i norra Sverige försvinner.
Värmebölja & torra	<ul style="list-style-type: none"> • Spårbildningen på asfaltvägar ökar. • Risken för fukt, mögel & korrosion ökar. • Risken för solkurvor & växelfel ökar. • Växtligheten intill vägen påverkas. • Arbetsmiljön för vägarbeten m.m. försämrans vid hög temperatur.
Brand	<ul style="list-style-type: none"> • Trafik intill skogsbränder kan behöva stoppas.

Trafikverket har identifierat ett antal anläggningsdelar som man menar påverkas negativt av klimatförändringar och extrema väderhändelser. Här nedan återges (en något förkortad version) av tabell 3 i "Regeringsuppdrag om Trafikverkets klimatanpassningsarbete" (Trafikverket, 2018). Det framgår inte hur denna identifiering gått till. För en person (såsom författaren av denna rapport) som inte deltagit i denna process framstår några av anläggningsdelarna som självklara medan valet av andra förefaller tveksamt. Vägbankar, grundläggning, rörbroar och tunnlar som skadas av högre havsnivåer och höga vattenflöden är självklara liksom asfalt som mjuknar vid högre temperatur. Men varför t.ex. sprutbetongförstärkningar i tunnlar och broars pyloner skulle påverkas mer än marginellt är oklart.

Tabell 2: Exempel på anläggningsdelar som påverkas negativt av klimatförändringar (något förkortad version av tabell 3 i referensen Trafikverket [2018])

Anläggning	Anläggningsdelar
Järnväg	Byggnader innehållande (ej fukttålig) elektronik Kontaktledning, spår, banvall, pumpstationer & avvattningsystem
Väg	Vägbank, beläggning, pumpstationer, portaler, skyltar med stort vindfång, elektrisk utrustning
Bro	Grundläggning, slänter, koner, lätta överbyggnader & rörbroar Långa broar med omliggande stora öppna ytor & öppningsbara broar Hängbroar, snedkabelbroar & bågbroar med konstruktionsdelar över vägbanan såsom hängare, kablar, båge, pyloner & tvärbalkar
Tunnel	Sprutbetong & ytförstärkning Bergskärningar & tunnelmynningar Hela tunneln
Färja	Linjärjärs vajerinfästningar i land, styr- & framdrivningsvagnar Betong- & stålkonstruktioner, dykdalber, ramper, rampkrokar & elektronik

Trafikverkets handlingsplan (version 1 från 2016) innehåller 20 identifierade områden med utpekade aktiviteter. Dessa omfattar olika administrativa åtgärder såsom ansvarsfördelning, kunskapsinhämtning, forskning, utveckling, samråd, kommunikation och inventering. Alla aktiviteterna hade snäva tidsramar. Samtliga utom en i den första versionen skulle vara slutförda före den 30 juni 2017. För aktiviteten nr 6 ("Samla in och utreda information om naturolyckor") angavs "Pågående" i stället för ett slutdatum.

Ett par aktiviteter handlar om att identifiera anläggningsdelar, riskpunkter och risksträckor som är särskilt utsatta för klimatförändringar. Detta är ett nödvändigt steg i att anpassa trafikinfrastrukturen till förväntade klimatförändringar men ingen konkret åtgärd för ökat skydd eller ökad säkerhet. Men det finns några aktiviteter som ligger närmare konkreta anpassningsåtgärder än övriga. Här kan man lyfta fram följande områden:

- Ta fram metoder för att avgöra när och var olika åtgärder är kostnadseffektiva för klimatanpassning. (Nr 8).
- Anpassa nybyggnader och ombyggnader till nuvarande och framtida klimat. (Nr 10).
- Öka befintliga väg- och järnvägsanläggningars motståndskraft mot klimatförändringar. (Nr 12).
- Åtgärda systematiska brister, t.ex. underdimensionerade trummor. (Nr. 13).
- Anpassa underhållsmetoder till förändringar i klimatets påverkan. (Nr 14).
- Förstärkningsmaterial, t.ex. reservbroar. (Nr 20).

I den andra versionen av handlingsplanen har Trafikverket skapat nya aktiviteter inom de utpekade områdena. Område 8 är föremål för forskning. Område 12 och 14 är vilande. Inom område 10, 13 och 20 startades aktiviteter såsom dokumentframtagning och utredningar. Denna gång var tidsramen betydligt längre med slutdatum senast i oktober 2019.

Hur för då Trafikverket handlingsplanen vidare i sin egen forsknings- och innovationsplan (Trafikverket, 2022)? Det korta svaret är i mycket liten utsträckning.

Trafikverkets forsknings- och innovationsplan gäller för sex år, från 2022 till 2027. Planen ”omfattar sju portföljer och ett program för järnvägsområdet” (på 54 sidor): Planera, vidmakthålla, möjliggöra, bygga, sjöfartsområdet, luftfartsområdet och strategiska initiativ. Enbart inom de fyra första portföljerna finns 147 identifierade ”prioriterade forsknings- och innovationsteman”. Inom ”strategiska initiativ” listas 39 forskningsfrågor. Klimatförändringar och i synnerhet klimatanpassning spelar en mycket underordnad roll. Orden ”klimatförändring” (eller ”klimatförändringar”) och ”anpassning” i denna betydelse förekommer bara fem resp. fyra gånger.

Portföljen Bygga har identifierat två forsknings- och innovationsområden mot klimatanpassning. De sorteras båda in under rubriken ”Miljömässig hållbarhet och klimatanpassning”. Det första handlar om vatten och det andra om ”Kunskapsutveckling inom klimatanpassningsområdet”.

Portföljen Vidmakthålla lyfter fram ”Öka förståelsen för hur klimatförändringar kommer att påverka transportinfrastrukturen” samt ”Utveckla och demonstrera analysmodeller för att kunna klassa, värdera och prioritera åtgärder för klimatanpassning av den befintliga transportinfrastrukturen” som prioriterade områden.

I kapitlet som behandlar strategiska initiativ finns ”Klimatförändringar och effekter på lång sikt – vilken strukturell anpassning kan komma att behövas – för levande städer och landsbygder?” som en av forskningsfrågorna.

”Kunskapsutveckling inom klimatanpassningsområdet” kan naturligtvis innehålla allt men författaren av dessa rader hade förväntat sig dels fler prioriterade områden och forskningsfrågor med högre detaljeringsgrad och tätare anknytning till handlingsplanen, dels en väsentligt högre andel av totalen inriktad mot klimatförändringar och anpassning till desamma. Om andelen förslag inom detta mycket viktiga område speglar andelen av forskningsmedel till samma område är det allvarligt. Forskning inom anpassning till klimatförändringar behöver långt mer än enstaka procent av Trafikverkets relativt stora forsknings- och innovationsbudget. Kan vi inte säkra och skydda vår transportinfrastruktur för effekterna av klimatförändringar blir frågor kring trafikering, självkörande fordon, tillgänglighet, punktlighet, affärsmodeller m.m. tämligen meningslösa att besvara.

Lunds tekniska högskola

Lunds tekniska högskola har under de senaste fem åren drivit ett forskningsprojekt om klimatförändringar och anpassning riktat mot broar. Projektet har bl.a. sammanfattats i en rapport (Nasr m.fl., 2019). Rapporten inleds med en genomgång av identifierade risker. Författarna har delat in dem i sju huvudkategorier:

1. Beständighet
2. Funktion
3. Geoteknik
4. Ökad belastning
5. Olyckslaster
6. Extrema naturhändelser
7. Drift

Totalt har man identifierat 31 risker. Några exempel: Accelererad nedbrytning (beständighet), långtidsdeformationer (funktion), ökande erosion (geoteknik), högre vindlaster (belastning), fartygskollisioner (olyckslaster), översvämningar (extrema naturhändelser) och ökad risk för elbrist (drift).

De sju kategorierna ser i första anblicken disparata ut. Geoteknik är ett ämne, olyckslaster skall man dimensionera för och drift är en process. Men rapporten är fokuserad på broar och sett med broförvaltarens ögon blir kategoriseringen mer logisk. Intressant är att författarna nämner elbrist som en risk. Exempel på orsaker till att denna kan öka p.g.a. klimatförändringar är isbildning på vindkraftverkens propellrar, ökad avdunstning som ger mindre vatten genom vattenkraftverken och stormar. Idag (2022) ser vi helt andra orsaker till elbristen (Rysslands krig i Ukraina) men 2019 var det fortfarande fred i Europa. Kombinationen av krig och klimatförändringar är något som måste studeras och hanteras framöver.

Lundarapporten bygger på en genomgång av 243 forskningsrapporter. Samtliga 31 risker behandlas i varsitt avsnitt, men rapporten behandlar även åtgärder för anpassning av i första hand broar till klimatförändringarna. I en tabell redovisas åtgärder för anpassning för 28 av de 31 identifierade riskerna. I flera av fallen finns flera förslag. Författarna har inte kategoriserat åtgärderna men det skulle man kunna göra. En grupp (1) handlar om ändrade laster ("Dimensionering för högre maximala temperaturer vid renovering och nybyggnation"), en (2) om att söka begränsa effekterna ("Hastighetskontroller", gäller t.ex. kollisioner fordon-bro till följd av försämrade siktförhållanden i sin tur orsakad av klimatförändringar), en (3) om förhållanden att beakta vid nyproduktion ("Sårbarhetsbedömningar införlivade i beslut om infrastruktur-placering"), en (4) om ökad övervakning av befintliga anläggningar ("Förbättrad övervakning och inspektion av broar"), en (5) om skyddsåtgärder ("Katodiskt skydd", "Ytbeläggningar, pelarinklädnad etc."), en (6) om förstärkning ("Förhöjning av broar") samt en (7) om förflyttning ("Förflyttning av bebyggelse"). Ämnet anpassning av infrastrukturen till klimatförändringar är mycket stort.

Finns det någon tidig rapport eller annan information om projektet?

Avdelningen för vattenresursteknik vid LTH bedriver en omfattande forskning om klimat-anpassning. Projekten befinner sig dock i starten och några rapporter finns ännu (september 2023) inte tillgängliga. Sju projekt med en sammanlagd budget på 42 MSEK har identifierats. De finansieras av Formas, Naturvårdsverket, Trafikverket och Vinnova. Dat för projekten sammanfattas här:

- ”Samhällspåverkan längs södra Sveriges kust till följd av ökad erosion från stigande havsnivåer (SISLER)”. Finansiär: Formas. Projektsumma: 8 MSEK. Start: 2022. Ansvarig: Magnus Larson.
- ”Klimatanpassning av väg och järnväg i strandnära områden”. Finansiär: Trafikverket. Projektsumma: 6 MSEK. Start: 2020. Ansvarig: Caroline Hallin.
- ”Inverkan av extrema flodflöden på broar med särskilt fokus på lokal erosion”. Finansiär: Trafikverket (BBT). Projektsumma: 3,8 MSSEK. Start: 2023. Ansvarig: Magnus Larson.
- ”Deltagardriven klimatanpassning - crowdsourcing av data för bättre hantering av urbana översvämningsrisker”. Finansiär: Formas. Projektsumma: 8 MSEK. Start: 2022. Ansvarig: Rolf Larsson/Shifteh Mobini.
- “*StormMan – A synthesis of governance structures and policy instruments to overcome economic, environmental and social implementation challenges moving toward sustainable stormwater management*”. Finansiär: Naturvårdsverket. Projektsumma 1,5 MSEK. Start: 2023. Ansvarig: Johanna Sörensen.
- “*Enhancing hydrODIVERSity for improving catchment based climate resilience (EcoDiver)*”. Finansiär: Naturvårdsverket. Projektsumma: 5 MSEK. Start: 2020. Ansvarig: Magnus Persson.
- “*A smart digital platform for managing cyan toxin risk in drinking water supply and beyond (DiCyano)*”. Finansiär: Vinnova & Formas. Projektsumma: 9,4 mill SEK. Start: 2020. Ansvarig: Jing Li.

Amro Nasrs avhandling

Amro Nasr publicerade i december 2022 en gedigen doktorsavhandling om klimatförändringar (Nasr, 2022) vid LTH. Avhandlingen består av åtta vetenskapliga artiklar och en längre sammanfattning ("kappa") på 84 sidor inklusive nära 300 referenser. Innehållet i artiklarna är litet brokigt och flera av dem inriktas snarare på konsekvenser av än anpassning till klimatförändringar.

Den första artikeln består av en genomgång av potentiella risker för broar och innehållet är delvis detsamma som det som presenterats i rapporten i föregående avsnitt (Nasr m.fl., 2021). Den andra artikeln innehåller ett förslag till beslutsunderlag för broförvaltare. Nasr tänker sig att risken innehåller fyra komponenter; (1) fara (*hazard*), (2) påverkan (*impact*), (3) ömtålighet (*vulnerability*) och (4) konsekvenser (*consequences*). Dessa kombineras till index som kan användas för att ranka och prioritera olika risker, olika broar, olika brobestånd och olika åtgärder för klimatförändringar och de effekter de kan komma att leda till.

Artikel III, IV, V och VI behandlar konsekvenser av klimatförändringar för fyra olika nedbrytnings- och brottmekanismer:

1. Kloridinitierad armeringskorrosion i armerade betongkonstruktioner (artikel III).
2. Mögel- eller svampangrepp på träkonstruktioner med markkontakt (IV).
3. Brott p.g.a. ökad krypning i tryckta betongkonstruktioner (V).
4. Erosion under broar över älvar och åar (VI).

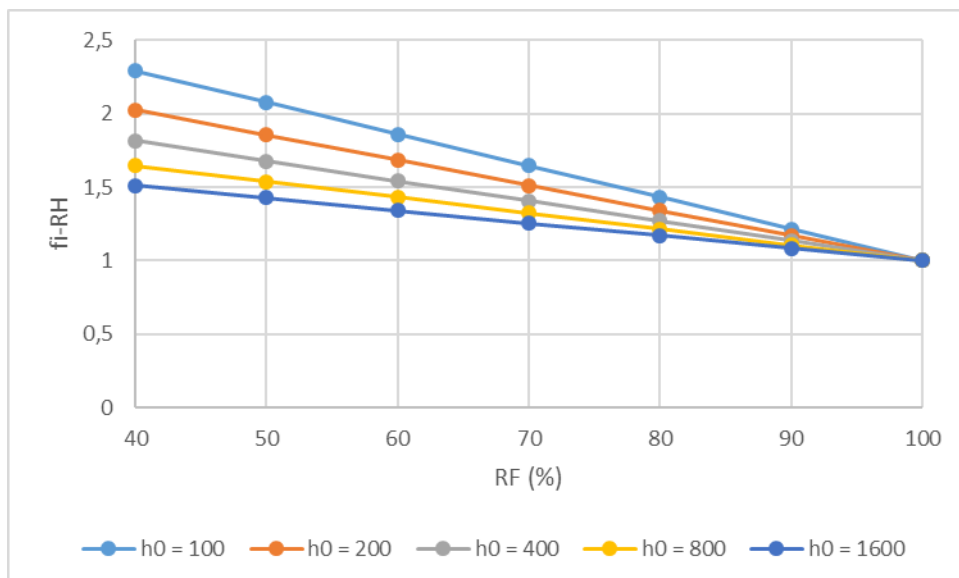
Nasr analyserar problemen med probabilistiska metoder och hans beräkningar ger vid handen att klimatförändringarna kommer att leda till att problemen kommer att öka i Sverige, i några fall mer i norr än i söder.

Artikel VII fokuserar på broar och identifierar inte enbart potentiella risker utan också förslag på åtgärder för att anpassa broar till klimatförändringarna. Innehållet har tidigare presenterats i rapporten i ovanstående avsnitt (Nasr m.fl., 2019).

Normalt dimensionerar vi broar och andra konstruktioner utifrån kända material och kända laster. De laster som finns i Eurokod 1 och andra normer baseras på statistik som samlats in under många år. Uppmätta snödjup och uppmätta vindhastigheter under decennier är två exempel. Men då klimatförändringarna förväntas leda till högre temperaturer, förändrad nederbörd (mer i vissa områden, mindre i andra) och kanske fler stormar blir det vanskligt att enbart lita sig på väderleksstatistik vid dimensioneringen. Den åttonde och sista artikeln behandlar detta problem. Nasr har utvecklat ett förslag till ett konceptuellt ramverk med vars hjälp konstruktören systematiskt kan beakta effekterna av klimatförändringar på dimensioneringen av den nya konstruktionen. I artikeln identifieras också ett antal problem ("*challenges*") som behöver lösas eller övervinnas innan ett mer praktiskt ramverk kan tas fram. Nasr menar att flera av dem utgör forskningsbehov.

Till skillnad från flertalet avhandlingar innehåller Nasrs doktorsavhandling inget kapitel eller avsnitt med rubriken "Fortsatt forskning" eller "Forskningsbehov". Den åttonde och sista artikeln har underrubriken "*challenges and research needs*". Mot slutet av den artikeln identifieras några sådana kopplade till artikelns slutsatser. De forskningsbehov som nämns där anknyter alla till dimensionering av nya konstruktioner med hänsyn till klimatförändringar. Forskning är avgörande för att identifiera de risker som behöver beaktas vid dimensioneringen. Han efterlyser också nya material, innovativ utformning av konstruktioner, återvunna material och hänsyn till ett naturligt åldrande. Flera av dessa förslag ligger dock närmare minskning än anpassning.

Författaren av dessa rader har ett specialintresse inom betong. Han ställer sig frågande till resultatet i artikel V. Den allmänna bedömningen av klimatförändringar i vårt land är att såväl temperaturen som den relativa luftfuktigheten RF kommer att öka. Ökad temperatur påverkar betongens egenskaper – i synnerhet dem vid tidig ålder – på så sätt att processerna sker snabbare: betongen hårdnar snabbare, betongens hållfasthet ökar snabbare och betongens krympning och krypning sker också snabbare. Det asymptotiska slutvärdet kan öka något men inte dramatiskt. Ökad relativ luftfuktighet innebär att krympningen minskar. Enligt referensverket ”*Properties of Concrete*” (Neville, 2011) minskar också betongens krypning vid ökande RF . Enligt Eurokod 2 minskar det beräknade värdet på kryptalet vid ökad RF (figur 4). Nasr har använt fyra andra, mer sofistikerade beräkningsmetoder för sin artikel där han alltså kommit fram till att krypningen och risken för brott p.g.a. krypning ökar till följd av klimatförändringarna. Med tanke på att betongens krypning snarare borde minska är resultatet litet förvånande. I ett e-brev till författaren menar Nasr (Nasr, 2023) att orsaken är att den förväntade höjningen av temperatur får en större inverkan på betongen krypning än den mer begränsade höjningen av den relativa luftfuktigheten.



Figur 4: Den fuktberoende faktorn ϕ_{RH} som funktion av relativ luftfuktighet RF och nominell tjocklek h_0 (i mm) enligt Eurokod 2.

Chalmers & Luleå tekniska universitet

Chalmers

Avdelningen för betongbyggnad vid Chalmers har under flera år bedrivit framgångsrik forskning om hur armeringskorrosion påverkar armerade betongkonstruktioners bärförmåga. I en hemsidestext om projektet ”Spjälksprickor som funktionsindikator för befintliga konstruktioner” skriver Karin Lundgren (2022):

Vi kan inte bygga på tidigare erfarenheter, utan vi måste förstå, kunna modellera och kvantifiera underliggande fysikaliska mekanismer för att kunna prognosticera säkerhet i en föränderlig framtid. Klimatförändringar kommer innebära både högre genomsnittstemperaturer och fler frostcykler, främst i områden där många vägar skall upplåtas till tyngre laster (74 ton). Hur kombinationen av korrosion och frost påverkar säkerheten blir därför väsentlig.

I övrigt handlar forskningsprojekten främst om att konstruera och bygga konstruktioner som ger så liten klimatpåverkan som möjligt (Plos, 2022).

Flertalet Chalmers-projekt inom betongbyggnad handlar således om minskning. Lundgrens projekt kan karakteriseras som ”ändrade laster” inom anpassning (figur 3).

Luleå tekniska universitet

Inom LTU finns avdelningen för drift, underhåll & akustik inom institutionen för samhällsbyggnad & naturresurser. Avdelningen genomför och har genomfört flera projekt där man studerat inverkan av klimatförändringar på järnvägsunderhållet. (Garmabaki m.fl., 2021; Garmabaki m.fl., 2022; Kasraei m.fl., 2023; Chamkhorami m.fl., 2023). Forskargruppen, under ledning av professor Uday Kumar, har bl.a. genomfört omfattande enkätundersökningar. Problem med extrema väderhändelser och inverkan av höjd temperatur, översvämningar, kraftiga vindar, åskväder och permafrost är väl kända bland respondenterna. Ökad temperatur kan leda till ökade problem med s.k. solkurvor men annars anses ökad nederbörd vara det största bekymret.

Forskargruppens forskning om anpassning kan klassificeras som i första hand inventering av konsekvenser. Ett exempel är att livscykelkostnadsanalyser (LCC) bedöms påverkas väsentligt ifall man beaktar klimatförändringarna på ett rimligt sätt (Chamkhorami m.fl., 2023), men det gäller även förutsättningarna för produktion av nya järnvägssystem och deras underhållsplanering. Särskilt utsatta anses växlar och korsningar vara.

Ett exempel på att stora nederbörds mängder kan leda till är den raserade banvallen nära Hudiksvall vilket ledde till en urspårning av två tågvagnar den 7 augusti 2023 (figur 5).

Avdelningen för arkitektur och vatten, som leds av professor Maria Viklander, inom samma institution vid LTU som ovanstående driver också forskning om dagvatten, ledningsnät och små avloppssystem. Ett exempel på projekt inom klimatanpassning är Formasprojektet ”Blågrön infrastruktur för en hållbar klimatanpassning av framtidens städer” (2021-2025) som bedrivs i samarbete med SLU, Östersunds kommun och kompetensnätverket Dag&Nät.



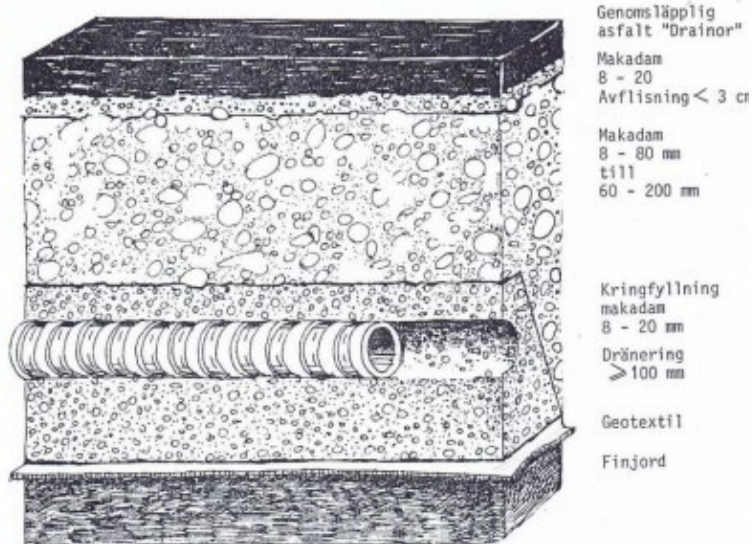
Figur 5: Den 7 augusti 2023 spårade två tågagnar ur utanför Vik i Hudiksvall. Foto: Lari Honkanen/SVT.

Forskning om klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor

Klimatförändringarna väntas leda till ökad nederbörd och större risker för översvämningar. Den tätbebyggda stadens yta består till stor del av täta ytor i form av hustak, gator och parkeringsplatser. Redan idag är dagvattensystemet otillräckligt för skyfall med en intensitet som kanske inträffar så ofta som en gång per år. Dagvattensystem är till skillnad från dammar inte dimensionerade för någon 100- eller 1000-årsflod. Man accepterade att de relativt sällsynta skyfallen bräddades ut i närliggande vattendrag och tvingades acceptera de föroreningar som följde med. När dagvattensystemen byggdes ut var staden i de flesta fall inte lika tätbebyggd och en del av de trafikerade ytorna var kanske inte belagda med asfalt eller täta markstensytor. Allt detta betyder att förutsättningarna försämrats vad gäller både last (mer regn) och förmåga (mindre genomsläpplig yta).

Vinnova har under en följd av år finansierat breda forskningsprojekt som populärt kallas grågröna ytor och blågrågröna systemlösningar. Färgerna blå, grå och grön associerar till vatten, beläggningar (i första hand marksten av betong och natursten) resp. växtlighet. Syftet är att skapa ytor i staden, ytor med god dränering för att förhindra kvarstående vatten men som samtidigt skapar tillräcklig bärighet för trafiken och förutsättningar som vatten och syre för växtligheten. Information om projektet – eller egentligen serien av projekt – finns på www.klimatsakradstad.se.

På denna hemsida finns totalt 13 tekniska rapporter (publicerade 2017). De behandlar t.ex. provning (Hellman, 2017) och dimensionering av vattengenomsläppliga markstensbeläggningar (Larsson m.fl., 2017; Rahman m.fl., 2017), dagvattenhantering (Andersson m.fl., 2017), klimatpåverkan (Al-Ayish, 2017) och livscykelanalys (During, 2017), mikroklimat (Rosenlund, 2017) samt genomgång av ett antal referensobjekt (Sörelius m.fl., 2017). Bland resultaten nämns att blågrågröna ytor kan magasinera 40-100 mm regn som annars skulle belasta dagvattensystemet direkt. Ett exempel på en systemlösning där ytskiktet utgörs av dränasfalt visas i figur 5 (Sörelius m.fl., 2017).



Figur 5: Systemlösning för dagvattenhantering vid Lilla Vallen, Växjö. Tv. Vägkroppen till höger närmast träden är uppbyggd enligt principen för dränasfalt. T.h. principskiss som visar uppbyggnad av dränasfalt (Sörelius m.fl., 2017).

Vattenkraften

Den 8 februari 2023 arrangerade Energiforsk ett webinarium med rubriken ”Klimatförändringarna och vattenkraften – så påverkas Sveriges energisystem”. Huvudtalare var Peter Berg, SMHI, Lisa Göransson, Chalmers, samt Richard Scharff, Chalmers & Vattenfall. Dessa utgör också några av de totalt elva författarna till en rapport från Energiforsk med rubriken ”Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraftens produktions- och reglerförmåga” (Scharff m.fl., 2023).

De viktigaste slutsatserna är att klimatet i vårt land kommer att bli varmare, vintern mildare med en ökad andel regn och mer nederbörd. Snösäsongen kommer att bli kortare. Sammantaget leder detta till att vårfloden kommer att bli mindre och inträffa tidigare. Man räknar med att tillrinningen kommer att öka med 5-10 % och detsamma gäller energiproduktionen från vattenkraften. Vattenmagasinen förväntas vidare hålla en jämnare vattennivå över året vilket tillsammans med den ökade produktionen gör att vattenkraftens reglerförmåga förbättras.

Forskargruppen har studerat tio svenska älvar från Luleälven i norr till Lagan i sydväst. Den 118 sidor långa rapporten avslutas med ett kapitel om behov av fortsatt forskning och innehåller sex olika förslag. Man framhåller att vattenkraftens produktions- och balanseringsförmåga påverkas inte enbart av klimatförändringar utan också krav på miljöanpassningsåtgärder. Samhällets övergång från fossil energi till elektrisk energi ställer utökade krav på vattenkraftens balanseringsförmåga för att hantera utbyggnaden av vindkraft och solkraft. Förslagen på ny forskning handlar dock främst om olika sätt att göra beräkningar och prognoser samt inkludera fler faktorer i beräkningarna. De norska älvarna och den norska vattenkraften är exempel på sådant som bör inkluderas i kommande forskningsprojekt.

Sveriges Kommuner och Regioner (SKR)

Vårt land har 290 kommuner och 21 regioner. Sveriges Kommuner och Regioner (SKR) är en arbetsgivarorganisation för dessa. SKR driver medlemmarnas intressen och tillhandahåller stöd och rådgivning inom hela det kommunala och regionala området. En viktig fråga som berör samtliga kommuner och regioner är klimatanpassning. Viktigast är kanske anpassning till ökad nederbörd och tillhörande översvämningar vilket kan exemplifieras med översvämningarna i t.ex. Göteborg, Västerås, Åre och Örebro under sensommaren 2023.

På SKR:s hemsida finns ett flertal skrifter av olika slag kring klimatanpassning, se <https://skr.se/skr/samhallsplaneringinfrastruktur/planeringbyggandebostad/klimatanpassning.1665.html>

Ett exempel är rapporten ”Klimatförändringarnas lokala effekter” (Sjökvist m.fl., 2019). Rapporten behandlar tre kommuner – Norrköping, Härjedalen och Malmö – och fokuserar på tre olika effekter: värmebölja och torka, kortare vinter resp. stigande havsnivåer och skyfall. Merparten av rapporten handlar om förväntade klimatförändringar för de tre olika kommunerna men den innehåller även förslag på åtgärder.

För att minska effekterna av värmebölja föreslås flera grönytor och träd, främst lövträd. Äldre och större lövträd ger mer skugga än nyplanterade. Lövträd begränsar dessutom spridningen av skogsbränder bättre än barrträd. Lövskog och våtmarker bör därför omgärda staden.

Kortare vintrar kanske inte ses som det största problemet med klimatförändringar men för en kommun med viktiga intäkter från vintersportturism som Härjedalen är de ett uppenbart problem (från 6 snömånader 1961-1990 till c:a 4 år 2100). Här föreslår rapportförfattarna ökad användning av redan befintliga åtgärder som snökanoner och lagring av snö från en vinter till nästa, men även en utbyggnad av sommaraktiviteter.

Malmö är ett exempel på en kuststad där havsnivå och skyfall identifierats som de mest problematiska förändringarna. Att bygga ut ledningsnäten för de mest extrema skyfallen anses som oralistiskt och orimligt dyrt. Istället föreslår rapportförfattarna att kommunen skapar ytor som kan ta hand om översvämningssvatten och exemplifierar med grönytor, fotbollsplaner och lekplatser. Vissa vägar får leda vattnet medan andra skall skyddas från vattenmängderna så att trafiken kan fortsätta utan större hinder. Stigande havsnivå kan motverkas genom invallningar och en permanent höjning av marknivån i området närmast kusten. Hamninloppet kan skyddas med portar.

Klimatförändringarna förväntas inte enbart ge mer skyfall utan kan också leda till mer torka. Redan idag ser vi att det är ont om vatten i många delar av vårt land och flera kommuner har restriktioner för användning av vattenledningsvatten sommartid. Nyligen skrev Håkan Westerlund, före detta för Svenska vatten- och avloppsföreningen (numera Svenskt vatten), en debattartikel i SvD (Westerlund, 2023) där han kritiserar kommuner för att inte möta marknadens behov vad gäller vattenförsörjning. Han menar att man skulle kunna bygga dammar för att samla vatten under höst, vinter och vår för att sedan kunna använda det under sommaren. Han bedömer att tillgången på ytvatten är många gånger större än vårt lands vattenbehov. Detta gäller även t.ex. Gotland där det med dagens system normalt råder vattenbrist med tillhörande restriktioner under sommaren. Westerlund hävdar att ett problem är kommunala monopolet och att det finns goda exempel på insamling av ytvatten inom svenskt lantbruk.

Rapportförfattaren har varit i kontakt med SKR angående genomförandet av en intervju för att utröna vilka forskningsbehov organisationen identifierat. Jag fick följande svar (Hebel, 2023):

Vi har stämt av din fråga intern då det gäller både klimatanpassning men kanske framförallt utmaningar gällande infrastrukturen. Vi tror oss inte vara rätt aktör att identifiera forskning inom dessa två områden utan hänvisar din fråga till Trafikverket.

Exemplet skyddsvall på Falsterbonäset

Den förväntade havsnivåhöjningen gör att bebyggelsen på Falsterbonäset riskerar att översvämmas. Vellinge kommun har därför beslutat att bygga en 21 km lång skyddsvall runt näset. Underlag togs fram av Sweco (2022). Enligt ett reportage i SVT Nyheter/Skåne den 26 oktober 2022 beräknas kostnaden för skyddsvallen till 200 Mkr. Projektledaren Erik Andersson menar i samma reportage att denna kostnad skall ställas i relation till det samlade värde (över 80 miljarder kr) på de bostadsfastigheter som kommer att skyddas av vallen.

Kommunen har låtit bygga en prototyp eller provvall som är c:a 50 m lång, 13 m bred och 1,7 m hög (Figur 7, Sehlin, 2022). Skyddsvallen består av jord och innehåller således inget bundet material som betong eller asfalt.

Det skall finnas ett Vinnova-stött forskningsprojekt om den aktuella skyddsvallen, men inget verkar i nuläget (september 2023) vara publicerat. Tidigare har Niklas Löfmark (2020) studerat medborgarnas syn på projekt. Den skepsis han noterat menar han snarare beror på hur medborgarna uppfattar att kommunledningen hanterat frågan än ett motstånd mot själva skyddsvallen.



Figur 7: Prototyp av skyddsvallen på Falsterbonäset. Foto: Mats Persson (Sehlin, 2022).

InfraSwedens utlysning ”Anpassning av transportinfrastrukturen för att möta klimatförändringar”

InfraSweden 2030 har haft en utlysning med rubrik enligt ovan. 16 projektförslag lämnades in och av dem beviljades sju stycken finansiering av Vinnova (tabell 3). Två av projekten handlar om järnväg och tre om genomsläppliga ytor i gatumiljön för att minska risken för översvämning. Ett projekt handlar om att anpassa det europeiska regelverket för geokonstruktioner (Eurokod 7) för klimatförändringar och det sjunde om att flytta och anpassa hamnen i Trelleborg. I tabellen nedan har författaren av denna rapport sökt karakterisera projekten utifrån olika delområden av området klimatanpassning enligt figur 3.

Tabell 3: Beviljade projekt

Projekt	Huvud-sökande	Belopp (kk)	Delområde
Dynamisk klimatanpassningsstrategi för en kustnära järnväg i södra Sverige	Lunds univ.	1000	Skyddsåtgärder
Genomsläpplig asfalt för skyfall	RISE	2140	Begr. av konsekvenser
Nya processer och verktyg för klimatanpassad transportinfrastruktur i täta och hållbara städer	VTI	764	Förutsättningar för nyproduktion & förflyttning
Byggnation, funktion och uppföljning av multifunktionella konstruktioner för klimatanpassning	VTI	5980	Begr. av konsekvenser
Klimatanpassning av järnvägsinfrastruktur- underhåll (ClimRail), Luleå tekniska universitet	LTU	5050	Inventering av konsekvenser & övervakning
Ett uppdaterat regelverk för anpassning av transportinfrastrukturen till framtidens krav	IEG 2.0*	2990	Förutsättningar för nyproduktion
<i>AI Factory Railway: Prognostics and health management of catenary for climate change adaptation (AIFR-PHMCC)</i>	LTU	6400	Inventering av konsekvenser & övervakning
Summa		24 324**	

* Implementeringskommissionen för Europastandard inom Geoteknik 2.0

** Varav 11 856 kkr från Vinnova.

Klimatanpassning.se

Som nämnts i kapitlet om Trafikverket deltar ett trettiotal myndigheter i Myndighetsnätverket för klimatanpassning (MNKA). Portalen klimatanpassning.se drivs av Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning vid SMHI, i samverkan med detta nätverk. Under rubriken ”Om oss” kan man lösa följande (avläst 29/9 2023):

Myndighetsnätverket för klimatanpassning, som står bakom Klimatanpassning.se, består av ett trettiotal myndigheter med sektors- eller informationsansvar för hur samhället påverkas av nutida och framtida klimat, samt länsstyrelserna i landet, som ansvarar för samordning av klimatanpassningsarbetet på regional nivå. Utöver myndigheter ingår även Sveriges Kommuner och Regioner (SKR) i nätverket.

MNKA startade 2016 men nätverkandet började redan 2005. Verksamhetsbeskrivningen 2023 (2023) beskriver vision, strategi, målsättningar och målgrupper samt arbetsområden. Dessa är följande:

- Utveckling av kunskap och data
- Öka engagemang och sprida kunskap i samhället
- Verka för förbättringar av ramverk och styrmedel
- Informationsdelning
- Kompetenshöjning

Nätverket har en årlig budget på 5 Mkr som används för arbete i olika arbetsgrupper. På portalen finns ett hundratal (avläst 29/9 2023) exempel från kommuner och olika myndigheter. Exempelen har försetts med nyckelord. De nyckelord (av 26) som förekommer i flest exempel är:

- Samhällsplanering (36 st)
- Översvämning (29)
- Nederbörd (24)
- Naturmiljö och ekosystem (22)
- Vatten och avlopp (18)

Vi ser att vatten (eller överskott på vatten) är det ämne som fångat mest intresse.

Förslag på fortsatt forskning

Baserat på en analys av ovanstående litteraturstudier och nyhetsrapporteringen om pågående klimatförändringar föreslås följande exempel på forskning och utveckling. Förslagen är ordnade efter klassificering, inte efter prioritering.

1. Undersökning av effekter av klimatförändringar, t.ex. ökad temperatur, ökad relativ luftfuktighet, ökad brandrisk och ev. ökade vindlaster på konstruktioner av betong, trä, stål och andra byggmaterial och hur det kan påverka konkurrensen mellan materialen.
2. Studier av hur produktionen av betongkonstruktioner kan förändras genom att beakta såväl fördelar som kortare vintersäsong och därmed mindre risk för frostsador som varmare somrar med ökad risk för s.k. temperatursprickor.
3. Utveckling av nya dimensioneringslaster för vind och snö, laster som baseras på förväntade förändringar p.g.a. klimatförändringarna och inte på statistik för en period innan klimatförändringarna accelererade.
4. Vidareutveckling av rör för avlopps- och dagvatten, rör som kan ersätta upp till 150 gamla sådana som dimensionerats för väsentligt mindre flöden.
5. Forskning om övervakning kopplad till åtgärder. F.n. pågår omfattande forskning om övervakning av broar och andra byggnadsverk med hjälp av avancerade givare och drönare, maskinlärning och artificiell intelligens. Men den stora mängden data som samlas in behöver användas till åtgärder för reparation av identifierade skador och förstärkning. Mätning och ev. diagnos utan åtgärd är som en sjukvård utan kirurgi och medicinering.
6. Effektiva barriärer av betong och/eller andra material, barriärer som kan skydda strandnära bebyggelse och infrastruktur mot havsnivåhöjning och översvämningar. "Effektiv" innebär att cement, betong och andra material som används för byggandet måste vara betydligt mindre än för att flytta det strandnära till "säker" mark.
7. Forskning om hur samhället, dess bebyggelse och dess infrastruktur kan skyddas mot en kombination av klimatförändringar och krigshändelser.
8. Forskning om hur vägar, annan infrastruktur och bebyggelse kan skyddas mot ökade risker för skred (tänkt t.ex. på skredet vid E6 Stenungsund 22 september 2023, Figur 8).
9. Fortsatt lovande forskning kring "blå-grå-gröna" system för att skydda städer mot översvämningar.
10. Utveckling av effektiva och möjligen industrialiserade metoder att förstärka existerande konstruktioner för förväntade effekter av klimatförändringarna.
11. Studier av hur byggnader, broar och andra anläggningar kan flyttas till "säker" mark till kostnader och klimatpåverkan som väsentligen understiger nyproduktion av dito på "säker" mark. Erfarenheter av pågående flytt av Kiruna och Malmberget bör naturligtvis beaktas.

Flertalet exempel ovan presenterades på fib:s stora betongsymposium i Istanbul i juni 2023 (Silfwerbrand, 2023), därav en viss tyngdpunkt på betong. Förslagen är numrerade med utgångspunkt i klassificeringen av klimatanpassning i figur 3. Nr 1 och 2 handlar om konsekvenser, 3 om laster, 4 om nyproduktion, 5 om övervakning, 6-9 om skydd, 10 om förstärkning och 11 om förstärkning.

I ansökan till Vinnova utlovades en prioritering av identifierade forskningsbehov. Efter genomförd studie är rapportförfattaren tveksam till om det är lämpligt. För att genomföra forskning krävs anslag och olika anslagsgivare har olika ansvarsområden. Trafikverket och kommuner har olika ansvarsområden och därmed också olika behov av ny kunskap. Om man ändå tvingas prioritera föreslår jag att man satsar först och mest på nr 4, 7, 8 och 11.



Figur 8: Skredet vid E6 Stenungsund. Foto: Hanna Brunlöf Windell/TT.

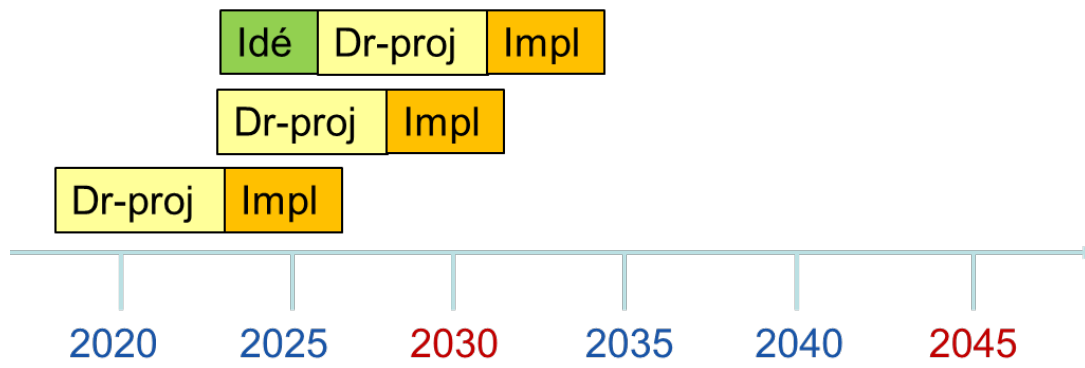
Det vore också angeläget att bredda studien mot internationell forskning inom klimatanpassning. Eftersom jag har min bakgrund inom betongområdet har jag stämt av med *American Concrete Institute (ACI)*. ACI har över 350 kommittéer och underkommittéer. Bland dessa finns en som heter *130 Sustainability of Concrete* med en underkommitté (av 6 st) *130-0H - Climate Change Impacts on the Sustainability of Concrete*. Underkommittén leds av Julie Buffenbarger och dess syfte eller uppdrag är följande:

To assess, model and document the influence of global climate change on the sustainability of concrete structures. To develop solutions to impede and control deterioration in concrete structures caused by global climate change.

Vi ser att denna arbetsgrupp lägger fokus på konsekvenser av klimatförändringar. Vidare hanterar ACI en databas som omfattar närmare 30 000 artiklar från 1900-talets början. En sökning på *climate change* (där båda orden måste vara med) ger 50 träffar. Lägger man till *adaptation* får man enbart tre träffar. Ingen av dem ger något substantiellt om anpassning.

Rapportförfattarens bedömning är att även den internationella forskningen inom klimatförändringar har tyngdpunkten på minskning men en studie på vad som sker internationellt inom klimatanpassning vore likväl av stort intresse.

Som rapportförfattaren ser det är det bråttom att ändra tyngdpunkten i forskningen om klimatförändringar från minskning till anpassning. Utpekade årtal för klimatmål som 2030, 2045 och 2050 ligger (2023) inte mer än 7, 22 resp. 27 år bort. Högskolans forskning bedrivs främst i doktorandprojekt och där är tiden från idé över beviljad ansökan om finansiering och rekrytering av doktorand till presenterad doktorsavhandling och implementering av resultat snarare tio än fem år. Då kan framforskade åtgärder för anpassning vara nödvändiga medan ytterligare åtgärder för minskning kan vara väl sena (figur 8).



Figur 8: Tiden mellan idé och implementering är lång inom högskolans forskningsprojekt som oftast drivs av doktorander.

Slutsatser

Klimatförändringarna kommer inte att kunna stoppas helt utan kan i bästa fall begränsas till en global temperaturhöjning på 1,5°C. Det innebär att vi behöver se om vårt samhälle, dess bebyggelse och dess infrastruktur för att anpassa dem till klimatförändringarnas förväntade effekter av högre temperatur, högre havsvattennivåer, ändrad nederbörd (som kan vara både mer och mindre), översvämningar, torka och bränder. Flertalet forskare och experter menar att klimatförändringarna redan är här. Både översvämningar och skogsbränder verkar t.ex. vara fler än tidigare.

Forskningen om klimatförändringar har varit och är omfattande. Merparten av den handlar dock om att utveckla åtgärder för att minska klimatförändringarna medan en mycket mindre del fokuserar på att anpassa den byggda miljön till de förväntade klimatförändringarna. Här behöver forskningen öka väsentligt, inte minst eftersom forskning tar lång tid för att genomföras och ännu längre tid behövs för att implementera resultaten.

Från litteraturstudien kan följande slutsatser dras:

- Forskning om klimatanpassning måste öka kraftigt.
- Man skiljer mellan minskning och anpassning, men även klimatanpassning kan delas in i flera delar: inventering och begränsning av konsekvenser, ändrade laster, förutsättningar för nyproduktion, ökad övervakning, skyddsåtgärder, förstärkning och förflyttning. Här är de tre sistnämnda både mest centrala och mest konkreta, men knappast de delar som är mest beforskade.
- Trafikverket har arbetat med klimatanpassning åtminstone sedan 2012. Trots det har såväl klimatförändring som klimatanpassning en väldigt liten roll (< 10 %) i verkets forsknings- och innovationsplan 2022-27.
- Sveriges Kommuner och Regioner (SKR) samlar 290 kommuner och 21 regioner av vilka de flesta arbetar med klimatfrågorna. SKR har inte identifierat några forskningsbehov inom klimatanpassning och infrastruktur utan hänvisar till Trafikverket.
- Höjd havsvattennivå och översvämningar är sannolikt de klimatförändringar som kommer att få störst påverkan på svensk byggd miljö, inte minst infrastrukturen. Här pågår mycket arbete ute i vårt lands kommuner men stödet från forskningen verkar vara eftersatt.
- Ett undantag är arbetet kring blågrågröna systemlösningar där många olika aktörer samverkar kring forskning om att genom ökad växtlighet och genomsläppliga ytor i städer minska belastningen på dagvattensystemet.
- Av vårt lands fyra största tekniska högskolor är LTH den som både kommit längst och den som bedriver mest forskning inom klimatanpassning. Här finns t.ex. den enda svenska doktorsavhandling om klimatanpassning inom byggkonstruktionsområdet.
- Denna rapport avslutas med ett tiotal förslag på fortsatt forskning inom klimatanpassning. Förslagen handlar om bl.a. ändrade laster, skydd, förstärkning, förflyttning samt konkurrensen mellan olika byggmaterial i ett förändrat klimat. Man behöver även ta höjd för ökade risker för krigshandlingar när man på olika sätt söker skydda den byggda miljön.

Referenser

- Al-Ayish N: "Klimatpåverkan av grågröna systemlösningar för urbana ytor". Teknisk rapport, Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer, Stockholm, 2017, 24 s.
- Andersson L, Larsson A, Malm A & Sörelius H: "Implementering av innovativa systemlösningar för hållbar dagvattenhantering". Teknisk rapport, Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer, Stockholm, 2017, 24 s.
- Chamkhorami K S, Kasraei A, Gamabaki A H S, Mayowa Famurewa S, Kumar U & Odelius J: "Implications of Climate Change in Life Cycle Cost Analysis of Railway Infrastructure". Proceedings, 33rd European Safety and Reliability Conference (ESREL 2023), Southampton, UK, Sept. 3-7, 2023, pp. 2089-2026.
- During O: "Miljökrav baserade på LCA-information vid kommunal upphandling av markstensprodukter av natursten". Teknisk rapport, Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer, Stockholm, 2017, 13 s.
- Garmabaki A H S, Thaduri A, Famurewa S & Kumar U: "Adapting Railway Maintenance to Climate Change". Sustainability, 13 (24), 2021, 27 pp.
- Garmabaki A H S, Odelius J, Thaduri A, Mayowa S, Kumar U, Strandberg G & Barabady J: "Climate change impact assessment on railway maintenance". Proceedings, 32nd European Safety and Reliability Conference (ESREL 2022), Dublin, Ireland, Aug. 28 – Sept. 1, pp. 2913-2920.
- Hebel G (Greta), SKR, Sektionen för planering säkerhet och miljö, Avdelningen för tillväxt och samhällsbyggnad, Stockholm, e-brev daterat 19 sept. 2023.
- Hellman F: "Accelererad provning av dränerande markstensytor med HVS-utrustning". Teknisk rapport, Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer, Stockholm, 2017, 32 s.
- Kasraei A, Gamabaki A H S, Odelius J, Chamkhorami K S & Thaduri A: "Climate change and its weather hazard on the reliability of railway infrastructure". Proceedings, 33rd European Safety and Reliability Conference (ESREL 2023), Southampton, UK, Sept. 3-7, 2023, pp. 2072-2078.
- Lundgren K: "Spjälksprickor som funktionsindikator för befintliga konstruktioner". <https://www.chalmers.se/sv/projekt/Sidor/SpjQlksprickor-som-funktionsindikator-fOr-befintliga.aspx> (Avläst 20 dec. 2022).
- Löfmark N: "Samhällets skyddsåtgärder - Medborgarnas skepsis: En fallstudie om en planerad skyddsvall mot översvämningar på Falserbonäset". Stockholm University, Faculty of Social Sciences, Department of Human Geography, Stockholm, 2020.
- Myndighetsnätverket för klimatanpassning: Verksamhetsbeskrivning 2023. 19 s.
- Nasr A, Larsson Ivanov O, Björnsson I, Honfi D, Johansson J & Kjellström E: "Klimatförändringars inverkan på broars säkerhet och prestanda: En översyn av potentiella effekter och anpassningsåtgärder". Rapport TVBK-3072, Lunds tekniska högskola, Institutionen för bygg- & miljöteknologi, Avdelningen för konstruktionsteknik, Lund, 2019, 51 s.
- Nasr A: "Risk Assessment of Climate Change Impacts to Built Infrastructure – Identification, Analysis, and Treatment of Climate Change Risks to Bridges". Doktorsavhandling, Lunds

tekniska högskola, Institutionen för bygg- & miljöteknologi, Avdelningen för konstruktionsteknik, Lund, 2022, 84 s + bilagor.

Nasr A, Björnsson I, Honfi D, Larsson Ivanov O, J. Johansson J & Kjellström E: "A review of the potential impacts of climate change on the safety and performance of bridges". *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 6 (3-4), 2021, pp. 192-212. Paper I.

Nasr A, Johansson J, Larsson Ivanov O, Björnsson I, & Honfi D: "Risk-based multi-criteria decision analysis method for considering the effects of climate change on bridges". *Structure and Infrastructure Engineering*, 2022. Paper II.

Nasr A, Honfi D, & Larsson Ivanov O: "Probabilistic analysis of climate change impact on chloride-induced deterioration of reinforced concrete considering Nordic climate". *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 3 (8), 2022. Paper III.

Nasr A, Niklewski J, Björnsson I, & Johansson J: "Probabilistic analysis of climate change impact on fungal decay of timber elements in ground contact and their long-term structural performance". *Wood Material Science and Engineering*, 2022. Paper IV.

Nasr A: "Probabilistic analysis of the impact of climate change on creep of concrete structures in Sweden". *Structure and Infrastructure Engineering*, 2022. Paper V.

Nasr A, Björnsson I, & Johansson J: "National level analysis of the impact of climate change on local scour under bridge piers in Sweden". *Journal of Infrastructure Systems*, 2022, (submitted). Paper VI.

Nasr A, Kjellström E, Björnsson I, Honfi D, Larsson Ivanov O, & Johansson J: "Bridges in a changing climate: a study of the potential impacts of climate change on bridges and their possible adaptations". *Structure and Infrastructure Engineering*, 16 (4), 2020, pp. 738-749. Paper VII.

Nasr A, Larsson Ivanov O, Björnsson I, Johansson J, & Honfi D: "Towards a conceptual framework for built infrastructure design in an uncertain climate: challenges and research needs". *Sustainability*, 13 (21), 2021, s. 11827. Paper VIII.

Nasr A, Lunds tekniska högskola, Institutionen för bygg- & miljöteknologi, Avdelningen för konstruktionsteknik, Lund. E-brev till författaren, 1 feb. 2023.

Neville A: "Properties of Concrete". 5th Edition. Pearson Education Limited, Harlow, England, 2011, 846 s.

Plos M, Chalmers, Avdelningen för betongbyggnad, Göteborg. E-post till författaren 27 sept. 2022.

Rahman S, Simonsen E & Hellman F: "Swedish Design Tables for Permeable Block Pavements". Teknisk rapport, Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer, Stockholm, 2017, 28 s.

Rosenlund H: "Mikroklimatet i stadsplaneringen". Teknisk rapport, Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer, Stockholm, 2017, 46 s.

Scharff R, Göransson L, Walter V, Berg P, Hundecha V, Löfblad E, Holm J, Unger T, Blom E, Söder L & Amelin M: "Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraftens produktions- och reglerförmåga. Slutrapport från KLIVA-projektet". Rapport 2023:924, Energiforsk, Stockholm, 2023, 118 s.

SS-EN 1992-1-1:2005. Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader. SIS Swedish Standards Institute, Stockholm, 2005, 244 s.

Silfwerbrand J: "Klimatförändringars effekter på betong, betongkonstruktioner och betongbyggandet i Sverige", CBI rapport nr 1:2011, CBI Betonginstitutet, Stockholm, 2011, 58 s.

Silfwerbrand J: "Swedish View of Concrete and Sustainability". Proceedings, 2nd International Conference on Concrete Sustainability, Madrid, Spain, June 13-16, 2016.

Silfwerbrand J: "Adaptation of the infrastructure to climate change – Research needs". Proceedings, fib Symposium in Istanbul, June 2023, Vol. I, pp. 568-577.

Spross J, Hintze S & Larsson S: "Optimization of LCC for Soil Improvement Using Bayesian Statistical Decision Theory". Proceedings, 8th International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management, Hannover, Germany, Sept. 4-7, 2022, pp. 392-397.

Sehlin M: "Så ska skyddsvallen runt Näset se ut – här testas bygget". Sydsvenskan, 24 okt. 2022.

SWECO: "Klimatanpassning av Falsterbonäset i Skåne". Uppdrag åt Vellinge kommun, 2022.

Sörelius H, Andersson L, Fransson A-M, Stål Ö, Fridell K, Bodin Sköld H, Boström C, Rosenlund H, Alvem B-M & Embrén B: "Klimatsäkrade systemtor för urbana miljöer – referensanläggningar och studier i urban miljö". Teknisk rapport, Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer, Stockholm, 2017, 57 s.

Trafikverket: "Handlingsplan för Trafikverkets klimatanpassningsstrategi. Förkortad version". Rapport, Borlänge, 2016.

Trafikverket: "Regeringsuppdrag om Trafikverkets klimatanpassningsarbete". Rapport 2018:195, Borlänge, 2018.

Trafikverket: "Trafikverkets forsknings- och innovationsplan. För åren 2022-2027". Rapport 2022:013, Borlänge, 2022.

Westerlund H: "Kommuner missköter vattenförsörjningen". SvD Debatt, 5 sept. 2023.



