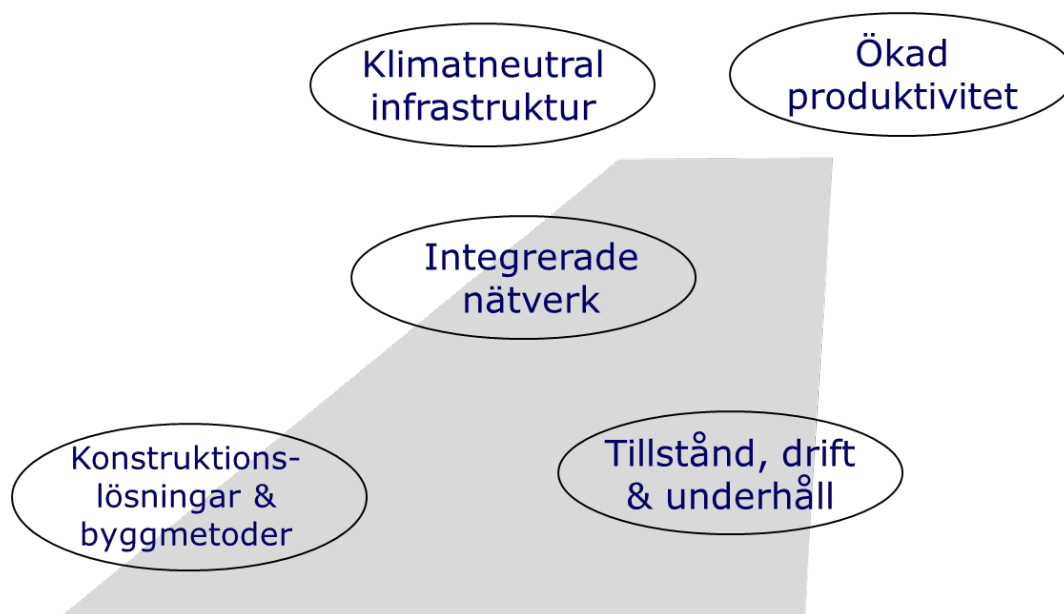


## Forskningsfront transportinfrastruktur – Fördjupningsstudie om InfraSweden2030:s fokusområden

Johan Silfwerbrand (redaktör)



Med stöd från:



FORMAS



STRATEGISKA  
INNOVATIONS-  
PROGRAM



## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	5
Summary .....	7
Förord .....	9
Uppdraget .....	10
Metod .....	10
Område 1 – Klimatneutral infrastruktur .....	11
Inledning .....	11
Ökad beständighet hos infrastruktur för ökad livslängd och längre användning.....	11
Område 2 – Integrerade infrastrukturnätverk i samhället .....	12
Inledning .....	12
Underjordsbyggande – integrerad förundersökning, byggfas och datahantering .....	12
Förundersökning .....	12
Byggfas .....	14
Datahantering .....	15
Säkerhet av komplexa byggnader med transportfunktioner .....	15
Referenser .....	16
Område 3 – Konstruktionslösningar byggmetoder för en hållbar och säker transportinfrastruktur .....	18
Inledning .....	18
Hänsyn till klimatförändringar vid dimensionering av ny infrastruktur och utvärdering av befintliga anläggningar .....	18
Hantering av klimatförändringar i planeringsfasen .....	19
Brandsäkerhet, bland annat tunnlar, nya material.....	19
Referenser .....	20
Område 4 – Ökad produktivitet av transportinfrastruktur för en bättre samhällsnytta .....	21
Inledning .....	21
Upphandling.....	21
Trafikverkets beställarstrategi .....	21
Trafikverkets FoI-satsning: Uppföljning och utvärdering av Trafikverkets Beställar- och upphandlarstrategi .....	22
Allmänt FoU-behov i branschen.....	23
Funktionskrav .....	24
Referens.....	24
Område 5 – Tillståndsbedömning och drift- & underhållsmetoder .....	24
Inledning .....	24

Prioritering av konstruktioner .....	25
Övervakning.....	25
Värdering av metoder för tillståndsbedömning .....	26
Tillståndsbedömning av infrastrukturens omgivning .....	26
IT-baserade drift- och underhållsmetoder.....	27
Nya verktyg och beräkningsmodeller för tillståndsbedömning .....	27
Oförstörande provning .....	27
Brandsäkerhet och smarta byggnader i förvaltningsskedet (sensorer, funktionssäkerhet, etc.) .....	28
Brounderhåll .....	28
Referenser .....	29
Bilaga 1: Sammanställning av grupparbetet i Bäckaskog.....	34

## Sammanfattning

Det strategiska innovationsprogrammet (SIP) InfraSweden2030 har identifierat fem fokusområden:

1. Klimatneutral infrastruktur
2. Integrerade infrastrukturnätverk i samhället
3. Konstruktionslösningar och byggmetoder för en hållbar och säker transportinfrastruktur
4. Ökad produktivitet av transportinfrastruktur för en bättre samhällsnytta
5. Tillståndsbedömning och drift- & underhållsmetoder

I augusti 2017 fick Sveriges Bygguniversitet (SBU) ett uppdrag av InfraSweden2030 (eller formellt av Vinnova) att ta fram en tydligare beskrivning av ämnesområdet, de senaste FoI-fronterna och de viktigaste delområdena inom vart och ett av de fem fokusområdena.

SBU en samarbetsorganisation inom byggområdet för Chalmers, KTH, LTH och LTU. SBU:s verksamhet bedrivs huvudsakligen i sju temagrupper:

- Byggkonstruktion
- Byggprocess & förvaltning
- Byggnadens tekniska funktion
- Geoteknologi
- Vatten & miljö
- Trafik & väg
- Grundutbildning

Organisationens syfte är ” att verka för att den bygginriktade forskningen och utbildningen får bättre möjligheter att fylla det behov av ny och tvärdisciplinär kunskap och kompetens som utvecklingen mot ett mer hållbart samhälle skapar”. Syftet passar således uppdragets innehåll mycket väl.

Arbetet inleddes med en workshop som arrangerades i samband med SBU:s augustikonferens på Bäckaskogs slott. I workshopen deltog ett 30-tal personer, dels lärare och forskare vid de ingående högskoleinstitutionerna, dels medlemmar i SBU:s s.k. Externa råd vilket samlar högre tjänstemän inom näringsliv och offentlig förvaltning, alla intresserade och väl insatta i SBU:s verksamhet. Resultaten från workshopen – totalt 39 förslag, minst fem per fokusområde – finns sammanfattade i bilaga 1.

Det huvudsakliga arbetet har genomförts av totalt åtta personer vid de fyra högskolorna. Man har identifierat sammanlagt 17 delområden inom de fem fokusområdena. Delområdenas fördelning över fokusområdena speglar SBU:s sammansättning. Fokusområde nr 5 är t.ex. mycket aktuellt för tre temagrupper vilket resulterat i nio delområden. Totalt innehåller rapporten 82 referenser.

Programledningen har för vart och ett av de fem fokusområdena identifierat 2-8 delområden. De återges i inledningen av varje kapitel som behandlar ett fokusområde men författargruppen inom SBU har inte tolkat uppdraget så att texten skall vara begränsad till just de delområdena, heller inte att nödvändigtvis utveckla vart och ett av dem. Innehållsförteckningen innehåller rubriker på första och andra nivå. En genomgång av andra nivå ger en snabb uppfattning om vilka delområden som författargruppen har prioriterat.

Detta innebär att texten kan uppfattas som något spretig och innehållet litet av *ad hoc*-karaktär. Å andra sidan antas det egentliga syftet med programledningens uppdrag vara att ta fram underlag för utlysningar inom ramen för Infra Sweden 2010. Om programledningen

väljer att omvandla ett antal av de i rapporten beskrivna delområdena till grund för utlysningar är sannolikheten stor att det inom SBU finns såväl kompetens som resurser att lämna in starka ansökningar till dessa utlysningar.

## Summary

The Swedish strategic innovation program (SIP) InfraSweden2030 has identified five focus areas:

1. Climate neutral infrastructure
2. Integrated infrastructural networks within the society
3. Structural solutions and construction methods for a sustainable and safe transport infrastructure
4. Increased productivity of the transport infrastructure for improved societal benefits
5. Assessment and operation and maintenance methods

In August 2017, Swedish Universities of the Built Environment (SBU) accepted a commission from InfraSweden2030 (or formally from Vinnova – Sweden’s Innovation Agency) to develop more distinct descriptions of the subject field, the most recent R&D fronts, and the most important sub-areas within all five focus areas.

SBU is a co-operating organisation within the area of the built environment between Chalmers Technical University, KTH Royal Institute of Technology, Lund University Faculty of Engineering (LTH), and Luleå Technical University (LTU). SBU’s activities are mainly carried out in seven theme groups:

- Structural Engineering
- Construction & Facilities Management
- Building System Design & Performance
- Geotechnology
- Water & Environmental Engineering
- Highway Infrastructure & Transport Systems
- Education

The aim of the organisation is to ”work for construction-oriented research and education to have greater possibilities of filling the need – created by the trend toward a more sustainable society – for new and interdisciplinary knowledge and competence”. Consequently, the aim suits the content of the commission very well.

The work was started with a workshop that was organised in connection to SBU’s August conference on Bäckaskog castle in Skåne in the very south of Sweden. Around 30 people, both teachers and researchers at departments involved in SBU and high level professional employees within industry and public sector, all interested in and well informed about the activities of SBU. The results from the workshop – totally 39 proposals, at least five per focus area – are summarized in Annex 1.

The major part of the work has been carried out by totally eight teachers at the four universities. 17 sub-areas have been identified within the five focus areas. The distribution of the sub-areas among the focus areas mirrors SBU’s composition. Focus area No. 5 is, e.g., very important and highly up-to-date for three theme groups which has resulted in nine sub-areas. The report contains 82 references totally.

The program management group of InfraSweden2030 had identified 2-8 sub-areas for each of the five focus areas. These sub-areas are mentioned in the beginning of each report chapter but the author group within SBU has not interpreted the commission in such a way that the report text should be limited to the sub-areas identified by the management group and necessarily required to develop each of them. The table of content contains first and second

order headings. A glance on the second level headings provides a rapid view of the sub-areas that the author group has prioritized.

This means that the report text may be perceived as somewhat unfocused and partly written *ad hoc*. On the other hand, the author group has assumed that the real aim of the commission is to develop background information for calls within the framework of InfraSweden2030. If the program management group selects to transfer a number of the sub-areas described in the report to foundations for calls, there is a high probability that there are both competence and resources within SBU to submit strong applications within these calls.



## Förord

Föreliggande rapport innehåller en sammanställning av texter från skilda författare, alla verksamma vid de fyra universiteten som ingår i Sveriges Bygguniversitet (SBU), dvs. Chalmers, KTH, LTH och LTU. Redaktören vill tacka följande personer: *Maria Ask*, LTU, *Lennart Elfgren*, LTU, *Patrick van Hees*, LTH, *Anna Kadefors*, KTH, *Oskar Larsson Ivanov*, LTH, *Nils Ryden*, LTH & KTH, samt *Peter Ulriksen*, LTH.

Texterna bildar tillsammans författarnas prioriteringar vilka inte nödvändigtvis är identiska med programledningens. Det kan i förstone tyckas problematiskt men å andra sidan pekar författarnas prioriteringar på delområden där forskargrupper inom SBU ligger långt framme och snabbt kan utveckla ny kunskap och kompetens till gagn för vårt land och dess transportinfrastruktur. Att nå forskningsframgångar inom delområden där forskargrupperna ligger längre från forskningsfronten tar längre tid och torde därför knappast kunna ske inom de relativt begränsade tidsramar (2-3 år) som merparten av projekten inom InfraSweden2030 förväntas ha. Utlysningar inom de av forskargrupperna prioriterade delområdena torde därför ha störst möjlighet att leda till framgång.

Studien har finansierats av Vinnova genom det strategiska innovationsprogrammet InfraSweden2030. Redaktören tackar Vinnova för finansieringen och InfraSweden2030:s programledning för idén till projektet och att uppdraget att genomföra det gick till SBU. Redaktören vill avslutningsvis tacka *Fredrick Lekarp*, programkoordinator för InfraSweden2030, för värdefulla synpunkter på rapporten.

Stockholm i april 2018

*Johan Silfwerbrand*

Redaktör

## Uppdraget

Syftet med föreliggande projekt är att förbättra utvecklingsramarna och underlätta arbetet inom fokusgrupperna för InfraSweden2030 genom en fördjupningsstudie av programmets fem fokusområden.

Målet med projektet är att för varje fokusområde ta fram en tydligare beskrivning av ämnesområdet, de senaste FoI-fronterna och viktigaste delområden som också skall beskrivas var för sig. Arbetet skall enligt programledningens önskemål inte vara för forskningstungt utan fokusera på en TRL-skala högre än 3.

Programledningen har för vart och ett av de fem fokusområdena identifierat 2-8 delområden. De återges i inledningen av varje kapitel som behandlar ett fokusområde men författargruppen inom Sveriges Bygguniversitet har inte tolkat uppdraget så att texten skall vara begränsad till just de delområdena, heller inte att nödvändigtvis utveckla vart och ett av dem.

## Metod

Projektet inleddes som ett grupparbete vid Sveriges Bygguniversitets augustikonferens den 16-17 augusti 2017 på Bäckaskogs slott i nordvästra Skåne. Grupparbetet introducerades av Camilla Byström, programchef för Infra Sweden 2010. Förslagen från grupparbetena redovisas i bilaga 1.

Huvuddelen av projektet har genomförts av enskilda forskare eller forskargrupper som utvecklat idéer och texter för de fem fokusområdena. Forskarna har ställt upp som volontärer men namnen har förankrats i Sveriges Bygguniversitets styrelse.

Projektet följer i grunden metodbeskrivningen som den presenterats i ansökan (tabell 1).

*Tabell 1 – Projektets metodik enligt ansökan*

Fas	Rubrik	Beskrivning
1	Förarbete	Inläsning av utskickat underlag och svar till ev. frågeformulär från InfraSweden2030 kring programmets ämnesområden, utmaningar och framtidsfrågor.
2	Diskussion	Deltagare i Sveriges Bygguniversitets konferens och temadagar (16-17 aug 2017) diskuterar fokusområdena både gemensamt och inom sina temagrupper. Ansvar för respektive fokusområde tilldelas berörd temagrupp med utpekade diskussionsledare och antecknare. Representanter från InfraSweden2030 medverkar i denna fas för att framförallt informera och svara på uppkomna frågor.
3	Uppföljning	Detta arbete görs under hösten 2017 framförallt inom berörda temagrupper och i syfte att kunna leverera projektets överenskomna resultat. Arbetets omfattning berörs av hur mycket som hinner göras redan under fas 2.
4	Sammanställning & dokumentation	Under denna fas levererar varje ansvarig temagrupp en dokumenterad sammanställning av slutsatserna kring berört fokusområde i enlighet med projektets resultatmål. Dessa skickas till projektledaren som sammanställer och skickar vidare till InfraSweden2030:s programchef. Eventuella synpunkter och frågor från ansvariga i InfraSweden2030 tas hand om och besvaras av utpekade ansvariga inom Sveriges Bygguniversitet.

5	Projektavslut	Projektet avslutas då inlämnad sammanställning och dokumentation godkänts av InfraSweden2030:s programchef.
---	---------------	---

Rapporten har varit utsänd två gånger till styrelsen för SBU, författargruppen och programledningen för InfraSweden2030. Synpunkter från dessa har beaktats i rapportens slutversion.

## Område 1 – Klimatneutral infrastruktur

### Inledning

*Programledningen har för fokusområdet Klimatneutral infrastruktur identifierat fyra delområden:*

1. *Energiutvinning ur transportinfrastruktur*
2. *Infrastrukturens tekniska förnyring*
3. *Elektrifierade vägar*
4. *Optimerad vägdimensionering utifrån samspel mellan fordon och väg*

Begreppet *klimatneutral infrastruktur* kan tillämpas på olika nivåer. Låt oss först begränsa oss till transportinfrastrukturen. På den översta nivån ligger frågor om resande och gods-transporter. Kan vi minska resandet genom ökad användning av IT? Kan godstransporterna minskas genom bättre hushållning med naturresurser, mer lokal produktion och bättre logistik? På näst högsta nivån finns valet av infrastrukturens system och transportslag; väg, järnväg, flyg eller sjöfart. Här anses järnvägen vara bäst ur ett miljöperspektiv men det är viktigt att nyproduktionen tas med i en livscykelanalys. Vid låg och måttlig trafikering tar det många år för att kompensera produktionens miljökostnad.

På tredje nivån finns frågor om huruvida man skall reparera och förbättra befintliga vägar, järnvägar m.m. eller om man skall bygga nytt. Det lämpligaste är sannolikt en kombination. Den fjärde nivån handlar om material och geometri. Vilket material skall användas för vägen eller bron och leder mer exklusiva material och större tjocklekar till en så mycket längre livslängd att den ökade miljöbelastningen som t.ex. mer cement och större tvärsnitt innebär kan försvaras?

Miljöbelastningen från en högtrafikerad väg består till övervägande delen av trafikens drivmedel som snabbt överskuggar miljöbelastningen från produktionen av vägen. Material och konstruktioner som leder till mindre drivmedelsförbrukning är då intressantare. Ljusare material kan leda till besparingar för belysning (dock mindre sedan led-belysningen introducerades) och/eller ökad trafiksäkerhet samt motverka s.k. ”heta städer” (*“heat islands”*), dvs. att stora städer är väsentligt varmare än omgivningen. Fasar man ut bensin- och dieldrivna fordon mot eldrivna fordon förändras naturligtvis bilden kraftigt. Men även elenergin bör man använda så effektivt som möjligt varför ytmaterial som ger lägre energiförbrukning fortfarande kommer att ha en fördel.

I ansökan till InfraSweden2030 tog man upp en helt annan aspekt. Infrastrukturen skulle också kunna generera energi, t.ex. genom installation av solfångare.

### Ökad beständighet hos infrastruktur för ökad livslängd och längre användning

En av de största källorna till miljöpåverkan från infrastruktur är när en gammal konstruktion behöver ersättas med en ny eller omfattande reparation behöver göras. För betongkonstruktioner är det främst armeringen som ger upphov till beständighetsproblem

genom att denna korroderar och bidrar till skador på betongen samt inte kan ta den kraft som den dimensionerades för. Om armeringsmängden kan minskas radikalt kan detta bidra till en markant ökning av livslängden för betongbroar. Det är dock svårt att göra det i vanliga brotyper som används idag, t.ex. plattrambroar och balkbroar med långa spännvidder där armeringen behövs för bärförmågan. Däremot för korta broar, där idag främst ramar används, kan nygamla konstruktionslösningar användas där en mycket större del av dimensionerade lasten tas upp med bågverkan genom att konstruktionen är tryckt. Denna typ av broar var mycket vanlig innan armering kunde användas. Broar byggda för flera hundra år sedan står fortfarande kvar, tack vare materialvalen i konstruktionen. Moderna byggmetoder och förutsättningar kan dock kräva att nya typer av bågkonstruktioner utvecklas, t.ex. förtillverkade betongskal som kan fyllas med stenblock som gjuts samman på platsen. Den armering som är nödvändig kan då placeras så att den är enkel att byta ut och konstruktionen kan användas under mycket lång tid.

## Område 2 – Integrerade infrastrukturnätverk i samhället

### Inledning

*Programledningen har för fokusområdet Integrerade infrastrukturnätverk identifierat två delområden:*

- 1. Integrerade lösningar för utveckling av den hållbara transportinfrastrukturen*
- 2. Utnyttjande av trafikinformation för ledning i nödsituationer*

Nätverk kan här antingen syfta på fysiska transportsystem som väg-, gatu- eller järnvägsnät eller modern IT som olika planerings-, styr-, övervakningssystem eller datainsamlingssystem. Man kan vidare tänka sig kombinationer av fysiska nätverk och IT-system. Forskningen inom i synnerhet IT-system har idag mycket god finansiering, t.ex. genom det strategiska innovationsprogrammet Smart Built Environment. Här bör fokus därför kanske snarare ligga på fysiska nätverk, gärna i kombination med IT.

### Underjordsbyggande – integrerad förundersökning, byggfas och datahantering

Idag investerar Sverige över 7 miljarder kronor per år i undermarksprojekt i berg (BeFo FUI program 2017). Omfattningen förväntas öka som ett resultat av pågående samhällsutmaningar. Samhället behöver utveckla ett helhetsperspektiv gällande undermarksbyggande, och beakta sociala, ekologiska och ekonomiska faktorer. Undermarksbyggande behöver inkludera ett effektivare resursnyttjande och livscykelanalyser (LCA). Ny infrastruktur behöver byggas bland annat för transportinfrastruktur, publika underjordsanläggningar, energiproduktion, energilagring och avfallshantering. Placeringen av dessa typer av infrastrukturer under jord stödjer urbaniseringen och hållbar samhällsutveckling. Detta motiverar ökade behov av forskning, utveckling och demonstration för undermarksbyggande.

Undermarksbyggande består av fyra väl definierade faser: förundersökning, byggfas, drift och avveckling. Fokus på detta inlägg ligger på de två första faserna, förundersökning och byggfas. Ett tredje fokus ligger på datahantering, vilket är en nyckel till drifts och avvecklingsfaserna.

### Förundersökning

Det existerar ett omfattande regelverk för samhällets fysiska planering, vilket idag hanteras av kommunerna, de har ett planmonopol. Ovan mark finns möjligheten att riva och bygga nytt. Även om det går att bygga underjordsanläggningar på större djup är utrymmet under mark

ändligt. En långsiktig undermarksplanering behövs, man behöver dokumentera existerande anläggningar och planera för framtida undermarksanläggningar i närtid såväl som i ett längre tidsperspektiv. Det behövs också en bättre integrering av den fysiska miljön ovan och under mark.

I tillägg till traditionella funktionella och estetiska krav behöver design av ny infrastruktur under mark ta hänsyn till nya samhällsutmaningar. Man behöver beakta samhällsrisker, till exempel som följd av klimatförändringar (ökad nederbörd, kraftigare stormar), behov av att utveckla hållbar energi och för att försvåra terrorhandlingar. En konsekvens är att i större omfattning involvera landskapsarkitekter, toxikologer och terrorexperter i designen av underjordsanläggningar. Man behöver också planera för hantering av uttaget material för det hållbara samhället, till exempel för användning som ballast och säkerställa miljövänlig produktion och byggnation för att skydda grundvatten och minska bildandet av kontaminerade bergmassor. Sverige är idag världens fjärde största geoenergiproducent (*World energy council 2018*). Svensk geoenergi produceras i huvudsak i 3-400 m djupa borrhål och är en populär energiform, speciellt i urbana områden. Här kommer dock utrymmet att behöva användas för andra ändamål varför det är viktigt att planera för etablering av djupare och mer samordnad geotermiproduktion i den urbana miljön. En stor potential är att utveckla geotermi i närheten till fjärrvärmeverk för att öka deras värmeproduktion samt i närheten av större komplex med associerade underjordsanläggningar (till exempel parkeringsgarage, sportanläggningar). Utveckling av miljövänlig och koldioxidneutral energi är kritisk för samhällets utveckling.

Det finns ett samband mellan väl genomförd förundersökning och den färdiga infrastrukturens kvalitet och kostnad. Genom noggrann planering och standardisering av olika aspekter av datainsamling och tolkning kan förundersökningsfasen optimeras parallellt med att juridiska aspekter hanteras under förundersökningsfasen.

Förorenad och miljöfarlig jord och berggrund är ett växande problem. Förorenad jord transporteras ofta bort medan det kan vara svårare att hantera förorenad berggrund (där berggrundens sprickor härbärgerar de förorenade massorna). Det är viktigt att utveckla miljövänliga metoder för att rena förorenade bergmassor på plats.

Under senare år har geofysiska förundersökningsmetoder utvecklats och används allt mer inom infrastrukturbyggande, till exempel för hantering av störningar och effektivisering av mätmetoder. Ny teknik med drönare och nya satelliter ökar möjligheten effektivare datainsamlingar och ökad kunskap om markytans läge och deformation över tid. Detta är viktigt för identifiering av ostabila områden, till exempel marksättningar på grund av förändrade grundvattenförhållanden. Det finns ett behov att förbättra ingenjörgeologiska och bergmekaniska modeller genom integrering av geofysisk förundersökning, borrhålslogging, borrhålsövervakning, *Measurements While Drilling/Logging* (MWD/MWL), in-situ mätningar och borrhålsövervakning. Forskning och utveckling behövs för att förbättra de individuella metoderna såväl som att integrera olika typer av data. Planering av datainsamling behöver koordineras och resultaten behöver integreras. Införande av BIM är viktigt för att samla och tillgängliggöra ny och existerande data. Numeriska metoder där kopplade numeriska modeller mellan termala, mekaniska, kemiska, hydrauliska och biologiska egenskaper kan utvecklas är viktiga verktyg för design av infrastruktur under jord.

Det finns ett behov för att bygga upp infrastruktur för forskning, utveckling och demonstration. Äspölaboratoriet som idag drivs av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) är landets (om inte världens) största undermarksanläggning i kristallin berggrund. Äspölaboratoriet är ett viktigt exempel på en anläggning där metodutveckling kan ske, parallellt med kvalitetstestning av ny teknik och utbildning av studenter och yrkesanställda. Test- och demonstrationsanläggningar behövs för att förbättra förutsättningarna att realisera

innovationer och implementering av ny teknik, inte bara inom infrastrukturbyggande men också för gruv- och kraftindustrin.

## Byggfas

Det har skett för många dödsfall och olycksfall i större infrastrukturprojekt och arbetsmiljön måste förbättras. En nollvision gällande olyckor och dödsfall behöver etableras. Ett sätt att öka säkerheten är att öka automatisering och robotisering av farliga moment.

Över 90 % av alla infrastrukturprojekt drabbas av kostnadsökningar. Hårdast drabbas bro- och tunnelprojekt, där medelkostnadsökningen är 51 % (t.ex. Pfaffhuber, 2018). Som tidigare nämnts spelar omfattningen av förundersökningar roll men det är också svårt att göra riktiga bedömningar i tidiga skeden. Geologiska osäkerheter är endast en mindre orsak till kostnadsökningar; en större orsak till kostnadsökningar är optimistiska och ofullständiga kostnadsberäkningar inom beställarorganisationen samt bristande kommunikation och samverkan mellan olika parter i planerings- och byggprocessen (t.ex. Lundman, 2018, BeFo FUI program 2018). Stora kostnadsbesparingar kan göras om kommunikation och samverkan mellan branschens aktörer och med det omgivande samhället förbättras, inklusive med politiker och allmänheten.

Traditionellt bestäms dimensionering, förstärkning och tätningsinsatser innan byggfasen vilket ofta leder till onödigt välförstärkta och tätade tunnelavsnitt. Under denna fas finns betydande osäkerheter mellan bästa och värsta scenario. Effektivare insatser för ekonomi och miljö kan göras om omfattningen av insatserna blir mer flexibla. Observationsmetoden är en metod som kan användas för att hantera osäkerheterna. Det finns ett behov av att utveckla ersättningsformer som bättre än idag är anpassade till denna metodik och som tydligt klargör riskfördelning och ansvar i och med att designen successivt förändras. Data som insamlas under byggfasen behöver också inkluderas i BIM och i analys av förstärknings- och tätningsbehovet. Ett exempel är MWD och MWL data. Användandet av ingenjörgeologiska modeller som baseras på data insamlade under förundersökningsfasen tillsammans med data insamlad under byggfasen behöver utökas. Bättre verktyg för visualisering, utveckling och användning av nya verktyg och metoder behövs för att stödja beslut i olika skeden av byggfasen.

Vanligen uppnås stabilitet i en undermarksanläggning genom att bergmassan samverkar med olika typer av förstärkningar. Eftersom bergmassan är heterogen och dess deformations-egenskaper styrs av dess geologiska historia måste dimensionering av bergförstärkning ta hänsyn till mer komplexa frågeställningar än motsvarande dimensionering för byggnadsverk i stål och betong. Bergmassan är heterogen både gällande det intakta bergets egenskaper och bergets sprickstruktur. Sprickförekomsten dominerar bergmassans permeabilitet och porositet och grundvattenkemin påverkar fysikaliska, kemiska och biologiska nedbrytningsprocesser för de material som ingår i konstruktionen. Under senare år har ett antal fatala bränder drabbat undermarksinfrastruktur. Därför är det också viktigt att bedriva forskning om förändring av bergmassans hållfasthet och materials brandtålighet, samt beakta dessa faktorer i samband med förundersöknings- och byggfaserna. Det är viktigt att utveckla metoder, tekniker och praktiska framgångsvägar för säker förstärkning och övervakning och kontroll av förstärkning över tid. Detta kan ske inom ramen för Eurocod 7 men även genom vidare utveckling av observationsmetoden. Metoder behöver även vidareutvecklas för att kontrollera om planerade insatser överensstämmer med utfallet. Geofysiska metoder, till exempel lasermätningar och georadar kan användas för att kontrollera tjocklek på sprutbetong respektive effektiviteten av injektering i bergmassans spricksystem (t.ex. Pfaffhuber, 2018). Det krävs en helhetssyn

Det är viktigt att täta infrastruktur i undermarken eftersom läckande infrastruktur påverkar grundvattnet, både dess nivå och dess geokemi. Vintertid kan läckage leda till isbildning under driftfasen. Traditionellt har funktionskraven beaktat täthet och tillåtet inläckage. Funktionskrav kan vara tekniska, ekonomiska, säkerhetsrelaterade, och estetiska och idag uppfylls dessa krav med hjälp av tätning (injektering) av spricksystemet, av dräner som transporterar bort vattnet, samt av inklädnad av infrastrukturen. Det finns ett behov forskning, utveckling och kompetensuppbyggnad inom dessa områden, inklusive långsiktiga drift- och underhållsaspekter. En annan aspekt är att utveckla nya, hållbara och miljövänliga material som även svarar mot specifika krav på brandtålighet. En större helhetssyn behöver utvecklas för att optimera vatten- och frostsäkring i berganläggningar. I BeFo FUI program (2017) identifieras LCA-metodiken viktig för att utvärdera olika alternativ, t.ex. injektering, dräner, inklädnad eller lining ur ekonomiskt perspektiv. Samtidigt finns andra alternativ, bland annat infiltration (BeFo FUI program 2017). Systemtänkande används idag på vissa håll men metodiken kan förfinas och ges bättre indata.

## Datahantering

Införandet av Byggnadsinformationsmodeller (BIM) är en viktig komponent för att förbättra integrationen mellan de fyra faserna. BIM implementeras framgångsrikt inom byggande och förvaltning ovan jord. Det pågår en stark utveckling av BIM inom infrastrukturbyggande under jord, bland annat sker ett skifte från att hantera planerings- och bygghandlingar i 2D pappersformat till 3D BIM format. Ytterligare utveckling och implementering av BIM under jord behövs, bland annat gällande: (1) *Standarder för dataformat och klassificering*. Det geologiska byggmaterialet och dess belastning är heterogen. Tolkning av geofysisk, geologisk, geokemisk och hydraulisk data behöver standardiseras för att minska variation mellan olika utförare. Det krävs även standardisering för datalagringsformat; (2) *Kvalitet och osäkerheter*. Eftersom det geologiska byggmaterialet kan ha starkt varierande egenskaper och både indirekta och direkta mätmetoder existerar för att mäta egenskaperna på olika skalor, in situ såväl som i labbmiljö krävs det att kunskapen om osäkerheter rörande mätningar är otillräcklig. Kunskapen behöver förbättras för osäkerheter som kan reduceras och de som inte kan reduceras med bättre undersökningar och provtagning: epistemisk osäkerhet respektive aleatorisk osäkerhet; (3) *Stora data mängder (big data)*. Ökad provtagningsfrekvens av olika typer av data resulterar i ökade möjligheter att integrera och invertera olika datatyper för att få en bättre kvalitet i tolkningar och modeller. För närvarande inkluderas främst tolkningar i BIM men i framtiden finns behov för att även inkludera rådata; (4) *Datalagring*. Det finns ett behov att samla in data på ett systematiskt sätt vilket tillåter att tidigare insamlad data kan användas i efterföljande projekt. Det behöver etableras ett nationellt center som ansvarar för lagring av rådata och information om datainsamlingen.

## Säkerhet av komplexa byggnader med transportfunktioner

Samhällssystemens utveckling mot flera aktörer, ökad integration, ny teknologi och ökad komplexitet kan leda till nya, ökade och kanske oväntade risker. För framtiden kan vi således förvänta oss nya typer av risker förknippade med ny teknologi, en åldrande befolkning, klimatförändringar, sociala problem, kriminalitet eller politiska konflikter och terrorism. Samtidigt byggs mer komplexa byggnader inom vilka flera samhällsfunktioner samverkar vilket ytterligare förstärker risker i samband med attentat, bränder, översvämningar och andra hot.

Sett ur ett personsäkerhetsperspektiv finns det två stora problemområden som aktualiseras för verksamhetstypen, den komplexa utformningens inverkan på brand- och brandgasspridning i konstruktionen och utrymning av personer. När det gäller spridning av brand- och brandgaser

utgör de olika verksamheterna i anläggningen en svårighet i att få ett fungerande system eftersom det är flera system som måste samfungera.

Analys med brandtekniska metoder krävs nästan alltid vid dimensionering av komplexa och multifunktionella byggnader eftersom preskriptiva lösningar inte fungerar för dessa byggnader. Användning av avancerade modeller för spridning av brand och brandgaser och riskbaserade metoder utgör viktiga komponenter vid dessa dimensioneringssituationer (van Hees & Wahlqvist, 2011). Därför behövs utveckling inom området validering av simuleringstekniker samt bättre metoder för att prediktera brandförloppet (van Hees, 2016). Även styrning av ventilationssystem i byggnader är en viktig aspekt för att begränsa spridning av brandgaser. Valideringen av ventilationsmodeller har redan skett i viss omfattning t.ex. inom industri och kraftverk (Wahlqvist, 2013). En annan trend inom byggandet är den ökade användningen av nya innovativa material för t.ex. isolering och regnskydd. Dessa material används ofta integrerade i komplexa väggar och fasader t.ex. i transportcentra och för spektakulära höga byggnader samtidigt som de måste uppfylla höga krav på brandsäkerhet. Att inte fullt ut förstå de brandskyddstekniska utmaningarna med sådana material kan leda till allvarliga konsekvenser vilket visat sig t.ex. vid branden i *Grenfell Tower* i London sommaren 2017.

Ur ett utrymningsperspektiv utgör dessa typer av verksamheter en utmaning och det finns tankar om att i framtiden i många fall kunna styra hur personer skall förflytta sig i samband med bränder, man pratar om smarta byggnader. Förståelsen för människors beteende och förmåga till förflyttning är väsentlig. Modeller för personers beslutsfattande (beteende) finns, Canter m fl (1980), vilka utgör kärnan i den forskning som bedrivs. Beslutsfattande i samband med en utrymning kan påverkas av hur trovärdig ett utrymningsalternativ är i relation till andra. Forskning kring vägval har genomförts i fysisk miljö, t.ex. Nilsson & Frantzich (2007) utifrån inverkan av tekniska system. Senare forskning utförs också i virtuell miljö (VR), Ronchi & Nilsson (2013) vilket möjliggör större variation i miljöbeskrivningen men på bekostnad av fysisk realism. Mycket av forskningen om hur tekniska system uppfattas bygger på *the theory of affordance*, Hartson (2003).

Beteende vid utrymning är beforskat för en rad olika verksamheter, då typen av verksamhet i stor utsträckning påverkar det förväntade beteendet. Närvarande personers roller påverkar hur de kan förväntas agera. En stor del av forskningen är genomförd inom ramen för flera större tunnelbyggen i landet där utformning av vägledningsmarkeringar och larm undersökts, Frantzich, Nilsson & Röd (2016). Forskning finns även för olika multifunktionella byggnader, Nilsson, Frantzich & van Hees (2013).

I s.k. smarta byggnader handlar det om att med tekniska hjälpmedel underlätta och effektivisera en utrymning. Svårigheten ligger i att integrera det personliga beslutsfattandet med teknik som förser de utrymnande med information t.ex. via kontinuerlig vägledning Hui m.fl. (2007) och Jin (1997). Det finns också exempel på hur VR-tekniken kan användas för att undersöka möjligheten att styra individer, Andréé m.fl. (2016).

## Referenser

BeFo FUI program 2017. Program för Forskning Utveckling och Innovation 2017-2020 för Stiftelsen Bergteknisk Forskning – BeFo. Available on 23 February 2018 at: [http://www.befoonline.org/UserFiles/Dokument/FUI\\_2017-2020/BeFo\\_FUI-prgm\\_2017-2020\\_MASTER.pdf](http://www.befoonline.org/UserFiles/Dokument/FUI_2017-2020/BeFo_FUI-prgm_2017-2020_MASTER.pdf).

Lundman, P. 2011. Cost Management for Underground Infrastructure Projects: A Case Study on Cost Increase and its Causes. Doctoral thesis, Luleå University of Technology.



Pfaffhuber, A., 2018. Unconventional geophysics- and remote sensing tools and their application to Engineering Geology. National Geosphere Laboratories Conference 2018, Oskarshamn, 12-13 February 2018.

World energy council 2018. Top geothermal producing countries. Available on 23 February 2018 at: <https://www.worldenergy.org/data/resources/resource/geothermal/>

.....

Andrée K, Nilsson D & Eriksson J (2016). Evacuation experiments in a virtual reality high-rise building: Exit choice and waiting time for evacuation elevators. *Fire and materials* 40(4), pp 554-567

Canter, D., Breaux, J., Sime, J. (1980). Domestic, Multiple Occupancy, and Hospital Fires. In *Fires and Human Behaviour* 1st ed., Ed. Canter, D. John Wiley & Sons.

Frantzich H, Nilsson D, Röd K (2016). Utrymning och tekniska installationer i vägtunnlar med dubbelriktad trafik. Rapport 3199, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund.

Fridolf K, Ronchi E, Nilsson D, Frantzich H (2013). Movement speed and exit choice in smoke-filled rail tunnels. *Fire Safety Journal* 59 (2013), pp 8–21.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.03.007>

Hartson, H.R. (2003) Cognitive, Physical, Sensory and Functional Affordances in Interaction design, *Behaviour & Information Technology* 22(5): 315-338,  
[doi:10.1080/01449290310001592587](https://doi.org/10.1080/01449290310001592587)

Hui X, Filippidis L, Gwynne S, Galea E, Blackshields D. Signage Legibility distance as a function of observation angle. *J o Fire Prot. Eng.* Vol 17, Nr 1, pp 41-64

[Jin, T.](#), 1997. Studies On Human Behavior And Tenability In Fire Smoke. *Fire Safety Science* 5: 3-21. [doi:10.3801/IAFSS.FSS.5-3](https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.5-3)

Nilsson D, Frantzich H. Vägval vid utrymning - utrymningsförsök med gröna blinkande lampor vid nödutgångar. Rapport 3141, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2007.

Nilsson, D., Frantzich, H., & Saunders, W. (2008). Influencing exit choice in the event of a fire evacuation. *Fire Safety Science – Proceedings of the 9th International Symposium*, Karlsruhe, Germany, pp. 341-352.

Nilsson M, Frantzich H and van Hees P. (2013) Selection and evaluation of fire related scenarios in multifunctional buildings considering antagonistic attacks. *Fire Science Review*, Vol 2, Issue 3, pp 1-20

Nilsson, M., van Hees, P., Frantzich, H., & Andersson, B. (2012). Analysis of Fire Scenarios in Order to Ascertain an Acceptable Safety Level in Multi-Functional Buildings. In *Proceedings of the 9th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods*, Hong Kong, China, 20-22 June 2012, Society of Fire Protection Engineers, USA.

Ronchi E and Nilsson D (2013). Traffic Information Signs, Colour Scheme of Emergency Exit Portals and Acoustic Systems for Road Tunnel Emergency Evacuations. Rapport 3173, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.

van Hees P, (2016), The Urgent Need for System Thinking in Fire Safety – The Only Way Forward for Testing, Engineering and Education, keynote lecture Interflam 2016, Royal Holloway College London.

van Hees P, Nilsson M, Frantzich H, Andersson B, Lange D, Strömgren, M, Sjöström N, (2014) SAFE MULTIBYGG Slutrapport, Riskidentifiering, analys och åtgärds metodik för olycksförebyggande arbete för multifunktionella byggnader med avseende på specifika antagonistiska hot, LTH Rapport 3174, Brandteknik, Lunds Universitet, Lund.

Wahlqvist, J., Van Hees, P., (2013), Validation of FDS for large-scale well-confined mechanically ventilated fire scenarios with emphasis on predicting ventilation system behaviour, Fire Safety Journal 62, pp. 102-114, doi: 10.1016/j.firesaf.2013.07.007.

## **Område 3 – Konstruktionslösningar byggmetoder för en hållbar och säker transportinfrastruktur**

### **Inledning**

*Programledningen har för fokusområdet Konstruktionslösningar och byggmetoder för en hållbar och säker transportinfrastruktur identifierat två delområden:*

- 1. Högteknologiska material för hållbar och säker transportinfrastruktur*
- 2. Innovativa komponenter för hållbar transportinfrastruktur*

Detta område är ett klassiskt område för byggforskningen och här har Sveriges Bygguniversitet en stor verksamhet i synnerhet inom temagrupperna konstruktion, geoteknologi samt väg & trafik. Begreppen *hållbar* och *säker* innehåller både likheter och motsatser. En hållbar konstruktion är en hållfast och beständig konstruktion som skapats med ett så litet uttag av naturresurser och ett så litet ”fotavtryck” som möjligt. Den bör vidare utformas så att även den sociala aspekten av hållbarhet beaktas. En hållfast och beständig konstruktion är långsiktig säker i den meningen att den inte havererar. Men i begreppet *säker* ingår även begreppet *trafiksäker* och det är här det kan finnas en motsättning. För samma volym betong kan man antingen göra bron eller vägbanan bredare och tunnare eller smalare och tjockare. Om allt övrigt (t.ex. bilarnas hasighet) är lika, är den bredare bron trafiksäkrare men den tjockare säkrare mot haveri.

När det gäller byggmetoder har vi historiskt gått från ett materialsnålt till ett arbetskraftssnålt byggande. Nu strävar man efter ett naturresurssnålt byggande. I gamla tider sparade man på cement, använde grov ballast och sparsten samt kortade av armeringen. Under 1960- och 70-talen blev arbetskraften allt dyrare varför man sökte förenkla och rationalisera byggandet med pumpbar betong (innehållande mindre ballast och mer cement) och lät armeringen fortsätta oavkortad genom hela konstruktionselementet. Livslängden fick bli vad den blev, mottot var ju slit och släng. Nu har alla företag en hållbarhetspolicy och söker hushålla med materialen. De kommer dock ofta i konflikt med byggmetoderna. Dessa behöver vidareutvecklas för att hantera nya material och fler material (man kan inte längre använda samma betong överallt). Även om vi bygger mycket ny infrastruktur behöver vi ändå ta hand om de över 95 procenten som redan finns. Mycket av detta kräver reparation och här behöver nya mer rationella metoder utvecklas från de mer hantverksmässiga som vi främst har idag.

### **Hänsyn till klimatförändringar vid dimensionering av ny infrastruktur och utvärdering av befintliga anläggningar**

För att utforma, bygga och använda broar i ett längre perspektiv krävs det att risker och osäkerheter tas hänsyn till och hanteras. Dagens metoder som används vid projektering är baserade på historiska data och tidigare erfarenheter, dvs. utvecklingen har i princip varit reaktiv. Användningen av befintliga metoder kan därför vara problematisk om förut-

sättningarna vid brokonstruktionen ändras under dess livslängd. Finns det begränsningar i dagens projektering när det gäller hantering av potentiella risker relaterade till klimatförändringar? Indikationer finns t.ex. på att extrema förhållanden kommer att öka alltmer, vilket kommer att påverka både befintlig och ny infrastruktur. Forskningsfrågor inom detta är både relaterade till de dimensioneringsmetoder vi använder och hur det är möjligt att inkludera risker och effekter relaterade till klimatförändringar tillsammans med dessa metoder, samt att utvärdera hur vi bör konstruera nya konstruktioner för att de bättre skall kunna stå emot nya extrema händelser vi inte tidigare sett.

### **Hantering av klimatförändringar i planeringsfasen**

Hänsyn till klimatförändringar kommer att bli en allt större del av projekteringsprocessen av nya broar och värdering av gamla konstruktioner. Det mest effektiva är att inkludera hänsyn till klimatförändringar i tidiga skeden i planeringsprocessen. Vid en sådan tidig inkludering kan risker identifieras och värderas för varje enskilt projekt och hänsyn tas innan detaljprojektering startats. Det underlättar hela processen om detta är med från början då det finns mer tid för denna typ av utvärderingar. Frågor om risker relaterade till klimatförändringar kommer att dyka upp oundvikligen i projekteringsprocessen, men ju senare de hanteras desto svårare är det att genomföra effektiva åtgärder och anpassningar. Forskningsfrågor inom detta omfattar både utvärdering av risker relaterade till klimatförändringar och hur dessa kan inkluderas i tidiga planeringsskeden.

### **Brandsäkerhet, bland annat tunnlar, nya material**

Brandskydd av tunnlar utgör en väsentlig aspekt för att säkerställa tunnelns funktion i ett samhällsperspektiv. Avbrott i kommunikationer kan få stora konsekvenser vilket visat sig i inträffade brandincidenter i t.ex. Akallatunnlarna 2001 och 2002 vilka slog ut elförsörjningen i stora delar av Stockholm. Liknande incidenter finns för järnvägs- och vägtunnlar. Brandsäkerheten baseras på åtgärder som begränsar brandförloppet och åtgärder som lindrar konsekvensen givet att en brand uppstått. Till den första kategorin kan nämnas åtgärder som relaterar till material i tunneln och dess innehåll till exempel bilar, lastbilar inklusive lasten samt järnvägsvagnar. Till material i tunneln kan nämnas kablar och andra elektriska installationer såsom fläktar och dynamiska informationstavlor.

Bränders förlopp i tunnlar har studerats ganska omfattande de senaste åren (Ingason, Lönnermark, 2004) och data på effektutveckling för olika fordonstyper finns redovisade. Brandeffekten är den enskilt avgörande parametern för brandutvecklingen i en tunnel och speciellt hur effektutvecklingen sker som funktion av tiden under den inledande tillväxtfasen (Ingason, Bergqvist, Lönnermark, Frantzich, Hasselrot, 2005).

Brandförsök har gjorts i såväl full skala med brandeffekter upp mot 200 MW (Ingason, Lönnermark, 2004) och i modellskala. Under senare tid har insatser gjorts för att beskriva inverkan av olika skyddsåtgärder främst vattensprinkler (Li, Ingason, 2013).

Kabelbränder utgör också ett påtagligt hot för säkerheten i trafiktunnlar. Rätt ofta är kablar en av de stora brandlasterna om man bortse från själva fordonen. Försök och modellering av bränder har genomförts (Grayson, van Hees m.fl., 2001; van Hees, Axelsson m.fl., 2001; Sompoon, 2016) och visar att det är relativt svårt att utveckla allmänna och generella metoder (van Hees, 2017). Ytterligare en dimension utgörs av att kablar även utgör en viktig del för att säkerställa kontroll- och styrsystem för själva tunneln men ibland även för hela eller delar av samhället eftersom tunnlar ofta används som ett enkelt sätt att distribuera el och data mellan delar av t.ex. städer. Brand i sådana mediatunnlar kan få stora konsekvenser som nämndes ovan och som behandlas mer i delen brandsäkerhet under drift och förvaltning (van Hees, Nilsson m.fl., 2014).

Skyddsåtgärder som minskar konsekvensen kategoriseras till skyddet av själva tunneln och till skydd av personer som vistas i tunneln. Vid bränder i tunnlar exponeras tunnelkonstruktionen och beroende på tunneltyp kan exempelvis spjälkning och ras av betongelement eller sprutad betong på bergytan förekomma, Haack (2005) och Nordlund m.fl. (2014).

För skydd av bilister och passagerare har ett flertal utrymningsförsök genomförts i trafiktunnlar med syfte att studera beslutsfattandet utifrån förekomsten av t.ex. tekniska installationer såsom utrymningslarm och ljussignaler för att vägleda personer i en rökfylld tunnel (Frantzich, Nilsson, 2003; Fridolf, Frantzich, 2015; Fridolf, Ronchi, Nilsson, Frantzich, 2013). Kommunikation med t.ex. bilister i en vägtunnelbrand är avgörande för en snabb utrymning och här kan användning av sociala medier vara väsentlig, Dreyfuss (2015). Som komplement till fysiska experiment har försök i virtuell verklighet börjat användas (Kinaterder mfl., 2013 och Ronchi mfl., 2016). En sammanställning av människors beteende vid vägtunnelbränder och förslag till hantering av identifierade problem presenteras i Frantzich, Nilsson & Rød (2016).

## Referenser

- Frantzich, H., & Nilsson, D. (2003). Utrymning genom tät rök: beteende och förflyttning. Rapport 3126, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.
- Frantzich H, Nilsson D, Rød K (2016). Utrymning och tekniska installationer i vägtunnlar med dubbelriktad trafik. Rapport 3199, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.
- Fridolf K & Frantzich H (2015). test av vägledande system i en tunnel - slutrapport. Rapport 3189, Brandteknik, Lunds universitet.
- Fridolf K, Ronchi E, Nilsson D, Frantzich H (2013). Movement speed and exit choice in smoke-filled rail tunnels. *Fire Safety Journal* 59 (2013), pp 8–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.03.007>
- Grayson, van Hees m.fl.. (2000), FIPEC Final Report on the Europeans Commission, SMT Programme SMT4-CT96-2059, 410pp, ISBN 0 9532312 5 9, London.
- Haack A. (2005) Fires in tunnels, FIT Technical Report – Part 1, Design Fire Scenarios.
- Kinaterder, M., Pauli, P., Müller, M., Krieger, J., Heimbecher, F., Rönnau, I., Bergerhausen, U., Vollmann, G., Vogt, P. & Mühlberger, A. (2013). Human behaviour in severe tunnel accidents: Effects of information and behavioural training. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 17, 20-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2012.09.001>
- Li Y, Ingason H (2013). model scale tunnel fire test with automatic sprinkler. *Fire Safety J* 61, pp298-313. <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.09.024>
- Lönnermark A, Ingason H (2004). Large scale fire tests in the Runehammar tunnel - Heat release rate. Proc of the Int. Seminar on Catastrophic Tunnel Fires, Borås, Sweden 20-21 Nov 2003, SP Report 2004:05.
- Nordlund E m fl (2014) Impact of fire on the stability of hard rock tunnels in Sweden. Befo rapport 136, Stiftelsen bergteknisk forskning, Stockholm.
- Ronchi E, Nilsson D, Modig H, Lindgren Walter A (2016). Variable Message Signs for road tunnel emergency evacuations. *Applied Ergonomics* 52 (2016) 253-264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2015.07.025>.
- Sompoom Soontara, (2016), Determination of design fires for cables, Division of Fire Safety Engineering, Report 5518, Lund.

van Hees P., Axelsson, J. Green, A. M and Grayson S. J., (2001) "Mathematical Modelling of Fire Development in Cable Installations", Fire and Materials 2001

van Hees P, Nilsson M, Frantzich H, Andersson B, Lange D, Strömgren, M, Sjöström N, (2014) SAFE MULTIBYGG Slutrapport MSB projekt, Riskidentifiering, analys och åtgärdsmetodik för olycksförebyggande arbete för multifunktionella byggnader med avseende på specifika antagonistiska hot, LTH Rapport 3174, Brandteknik, Lunds Universitet, Lund.

van Hees, P. (2017) Fire safety and Cables, Report 3205, Lund University, Lund 2017.

## **Område 4 – Ökad produktivitet av transportinfrastruktur för en bättre samhällsnytta**

### **Inledning**

*Programledningen har för fokusområdet Ökad produktivitet av transportinfrastruktur för bättre samhällsnytta identifierat åtta delområden:*

1. *Effektivare och samordnad planering*
2. *Samverkande samhällsbyggande*
3. *Ökat industriellt tänkande i hela byggprocessen*
4. *Integrerade ICT-plattformar för att optimera leveranskedjan*
5. *Holistisk design och dimensioneringsverktyg för transportinfrastruktur*
6. *Optimera produktionsprocesserna för infrastrukturbyggande*
7. *Ökat antal funktionella produkter – krav och kravhantering*
8. *Bättre affärs- och upphandlingsformer för ett effektivt utnyttjandet av marknadsresurser*

Antalet delområden antyder att området *Ökad produktivitet* är något programledningen vurmar för. Den relativt sett låga produktivetsförbättringen inom byggbranschen har vad ett hett debattämne under många år. Flertalet debattörer har lyft fram problemet medan en minoritet framfört faktorer som t.ex. många enskilda byggprojekts unicitet, förbättrad funktion, högre krav och stigande markpriser som orsaker. Eftersom en övervägande andel av transportinfrastrukturen finansieras av stat, landsting och kommuner så är ju frågan om ökad produktivitet en mycket angelägen fråga för varje skattebetalare, dvs. för oss alla.

### **Upphandling**

Trafikverket står för en stor andel av den totala volymen infrastrukturinvesteringar (40 mrd/år) och har därmed avgörande påverkan på marknaden. Övriga upphandlande organisationer på infrastruktursidan är huvudsakligen kommunala förvaltningar och bolag, men även privata fastighetsägare och industrier. Nedan beskrivs kortfattat nuläge när det gäller FoI-behov och -verksamhet inom infrastrukturupphandling, först inom Trafikverket och därefter på den mer splittrade kommunala och privata sidan.

#### **Trafikverkets beställarstrategi**

Trafikverkets instruktion SFS 2010:185 säger att Trafikverket skall "i sin roll som beställare särskilt verka för att produktivitet, innovation och effektivitet på marknaderna för investeringar, drift och underhåll ökar". Inom Trafikverket resulterade instruktionen i en tydlig policy att öka användningen av totalentreprenader och upphandla konsultuppdrag till fast pris. Målet var att Trafikverket skulle agera som en "Renodlad beställare", som ställer krav men lämnar ansvaret för att de uppfylls till leverantörerna. Parallellt har

inköpsverksamheten delvis centraliserats och influerats av metoder från inköp i privat sektor. Utvecklingen sedan 2010 har inneburit en stor förändring i Trafikverkets beställarroll jämfört med hur Banverket och Vägverket tidigare agerade.

Efter hand har beställarstrategin utvecklats så att Trafikverket idag fokuserar mer på att välja rätt affärsform för varje kontrakt och mindre på att generellt främja vissa former. Baserat på en upphandlingsmodell utvecklad och presenterad inom ett FoU-uppdrag för Konkurrensverket (forskningsrapport 2014:4) antogs 2015 en affärsstrategi (TDOK 2016:0199) med bland annat olika former för entreprenadupphandling (E1-6) samt en process för att välja form. Här ingår för första gången affärsformer där samverkan förenas med anpassade ersättningsformer, även om detta fortfarande är något som tillämpas endast i undantagsfall. I ett andra och tredje steg har även riktlinjer för upphandling av underhållsentreprenader (UH 1-4) och tekniska konsulter (TK 1-4) utvecklats.

### Trafikverkets FoI-satsning: Uppföljning och utvärdering av Trafikverkets Beställar- och upphandlarstrategi

I Trafikverkets beställar- och upphandlarstrategi (TDOK 2011:196) anges även att man skall "...följa upp, mäta och värdera effektiviteten i processen och produkten". I redovisningen av ett regeringsuppdrag om innovationsupphandling (Rapport 2014:084) fastslås att: "Trafikverket behöver initiera och genomföra FoI-projekt som ger ökat empiriskt stöd för vilka affärsformer med mera som fungerar bäst och ger stöd för utveckling". Mot denna bakgrund har en FoI-samverkan med Sveriges Bygguniversitet etablerats, en satsning som samfinansieras av Formas och Trafikverket inom ramen för den starka forskningsmiljön ProcSIBE (*Procurement for Sustainable Innovation in the Built Environment*, [www.procsibe.se](http://www.procsibe.se)).

Programmet syftar till att följa upp genomförande och effekter av olika upphandlingsstrategier som används av Trafikverket, men analyserar också vilka resurser och rutiner som Trafikverket behöver ha för att följa upp och utveckla sin beställarstrategi över tid.

### *Tillämpning av funktionskrav och funktionsansvar: analyser av orsakssamband*

Generellt är det dålig tillgång på data för att genomföra kvantitativa analyser av samband mellan olika krav, incitament, förutsättningar och åtgärder och deras effekter. Ibland finns data, men de är ofta svåra att hitta. Mycket information som skulle behövas för djupare analys samlas inte in från byggprojekten, eller så samlas data bara på projektnivå och inte för varje kontrakt. Trafikverket har utvecklat datainsamlingen över tid, men behöver arbeta mer med att identifiera vilka data som skall samlas in från projekten givet de mål man ställer upp.

När det gäller funktionskrav finns en kritik att Trafikverket inte använder funktionskrav utan ställer utförandekrav även i totalentreprenader. Förväntningarna när det gäller innovation har hittills inte infriats fullt ut. Detta är delvis en utvecklingsfråga: de underlag som tas fram idag innehåller fler renodlade funktionskrav och entreprenörerna blir bättre på att möta sådana, men det behövs också en ökad kunskap om hur funktionskrav skall formuleras och när sådana är lämpliga med hänsyn till begränsningar som slås fast i planskedet. När Trafikverket sätter frihetsgrader för en enskild entreprenad behöver man också ha ett mer långsiktigt perspektiv och beakta att underhållsområden med heterogena anläggningar kan kosta mer att drifta och underhålla.

### *Generella resultat av kvalitativa studier*

Kvalitativa analyser i flera delprojekt i forskningsprogrammet pekar på att tillämpningen och effekterna av samma upphandlingsstrategier varierar mycket beroende på projektledarens och projektmedarbetarnas kunskaper och attityder. Individernas förmåga att skapa en effektiv

samverkan är avgörande för innovationsgraden i alla typer av entreprenader. Trafikverket behöver arbeta mer med att utveckla projektledarrollen och förbereda både sin egen personal och sina resurskonsulter för att kunna ta en aktiv roll i att tillämpa mer flexibla och innovationsfrämjande arbetsformer. Den interna incitamentsstrukturen – och alltså inte bara leverantörernas – bör ses över. Man behöver också följa upp samarbetet i byggprojekten och ha ett system för att stödja och även byta ut personal som inte fungerar.

Stöd, uppföljning och lärande förutsätter att det finns funktioner över projektnivån för att driva utveckling. Detta innebär en centralisering som ofrånkomligen påverkar projektens och enskilda individers frihet. Studierna visar att det i vissa fall har funnits konflikter i relationen mellan den centrala funktionen Inköp, Trafikverkets verksamhetsområden och enskilda byggprojekt. Samarbetet har dock förbättrats över tid när arbetsformerna har utvecklats och rollerna klarnat. För att Trafikverket skall kunna arbeta mer systematiskt med innovation är det viktigt att man definierar en tydlig ansvarsfördelning mellan roller och funktioner på central nivå, verksamhetsområdesnivå och projektnivå så att dessa uppfattas som ömsesidigt stödjande. Teknisk kompetens, upphandlingskompetens och ledningskompetens behöver samverka för att genomföra bra byggprojekt och underhållsåtaganden. När det gäller FoI-samarbetet mellan Sveriges Bygguniversitet och Trafikverket är det exempelvis viktigt att verksamhetsområdena tar en aktiv del i forskningsprojekten, samtidigt som det är en avgörande framgångsfaktor att det finns ett enhetligt ansvar och en tydlig mottagare på verksamhetsnivå genom att programmet som helhet administreras av Inköp.

Forskningsbehoven inom Trafikverket adresseras ämnesmässigt i stor utsträckning av det nu pågående programmet, även om det finns behov av ytterligare fördjupning inte minst när det gäller underhållskontrakt. Behov av ämnesmässig breddning finns framför allt till upphandling av tekniska konsulter för projektering och planering, och mer uttalad innovationsupphandling. Andra potentiella områden berör utveckling av leverantörsmarknaden och hantering av megaprojekt med många delprojekt. Även kopplingen mellan teknisk FoI, verksamhetsutveckling och upphandling behöver studeras och utvecklas.

### Allmänt FoU-behov i branschen

Andra beställare är i stor utsträckning beroende av hur Trafikverket upphandlar eftersom kompetensen på leverantörsmarknaden påverkas av en så dominerande beställare. De kan alltså dra nytta av Trafikverkets utvecklingsinvesteringar. Vissa förhållanden skiljer sig dock mellan kommunerna och Trafikverket. Exempelvis är den organisatoriska splittringen större. Byggupphandling står för en stor andel av kommunernas totala upphandling men hanteras vanligen separat av byggande bolag och förvaltningar medan annan upphandling ligger på centrala funktioner. Ofta präglas kommunernas byggupphandling av bristande samarbete mellan de funktioner som har kompetens inom verksamhetsbehov, LOU, Inköp, projektledning och entreprenadjuridik. De olika kompetenserna tillhör olika professioner som sällan bedriver gemensamt utvecklingsarbete. Hur lärande kan organiseras i en sådan miljö är ett viktigt forskningsområde. Här ingår också frågor kring hur mindre kommuner kan utveckla sin upphandlingskompetens och vilken roll som exempelvis större kommunala beställare, Upphandlingsmyndigheten, Trafikverket och akademien kan spela.

En fråga som berör både Trafikverket och andra beställare är samordnade transporter för att minska påverkan på framkomlighet och miljö i samband med större stadsutvecklingsprogram med omfattande inleveranser och masstransporter. Här kan den splittrade ansvarsbilden inom kommunen och mellan kommunen och Trafikverket försvåra och helt förhindra implementeringen av samordnade lösningar.

## Funktionskrav

Totalentreprenader med väl fungerande funktionskrav uppfattas som en nyckel för att skapa förutsättningar för marknaden. Det finns idag brister när det gäller verifierbara funktionskrav som kan tillämpas för totalentreprenader. I de fall det finns funktionskrav är dessa ofta på en allt för övergripande nivå eller också är de närmast omöjliga att verifiera. Det saknas också verifierbara funktionskrav inom många områden.

Under 2016 och 2017 genomförde Chalmers och KTH ett projekt med rubriken ”Utveckling av funktionskrav för totalentreprenörer” på uppdrag av Trafikverket (Bröchner & Silfwerbrand, 2017). Projektet bestod av tre delar; en kring definitioner, en litteraturgenomgång (med tyngdpunkt på Trafikverkets dokument) och en med fallstudier genom intervjuer.

De funktionskrav som finns har olika detaljeringsgrad. Det förekommer att kombinationen av flera funktionskrav endast kan uppfyllas av en enda teknisk lösning, oavsett entreprenör. I så fall vore det bättre att formulera ett motsvarande utförandekrav.

Det finns välutvecklade funktionskrav för vägytor, medan det finns stora inslag av detaljerade utförandekrav i fråga om broar. Skillnaden kan delvis förklaras med olika förutsättningar för drift och underhåll av vägar och broar, men man bör kunna tillämpa funktionskrav på både brobyggande och brounderhåll. Dessa krav bör baseras på troliga livscykelkostnads- (LCCA) och livcykelanalyser (LCA).

Det är angeläget att satsa på teknikforskning som bidrar till högre kompetens vad gäller att förutsäga den långsiktiga hållbarheten hos innovativa tekniska lösningar för vägar och broar. Hållbarhetens alla tre dimensioner behöver beaktas.

En systematisk jämförelse av Trafikverkets nuvarande funktionskrav i tekniska beskrivningar bör göras med de krav som ställs utomlands. Tre länder som framstår som särskilt intressanta är Norge, Nederländerna och USA. För referenser, se Bröchner & Silfwerbrand (2017).

## Referens

Bröchner, J., & Silfwerbrand, J., (2017): “Utveckling av funktionskrav för totalentreprenader”. Uppdragsrapport för Trafikverket. Chalmers, institutionen för teknikens ekonomi & organisation, Göteborg & KTH, institutionen för byggvetenskap, Stockholm. 53 s.

## Område 5 – Tillståndsbedömning och drift- & underhållsmetoder

### Inledning

*Programledningen har för fokusområdet Tillståndsbedömning & drift- och underhållsmetoder identifierat två delområden:*

1. *IT-baserade drift- och underhållsmetoder*
2. *Nya verktyg och beräkningsmodeller för tillståndsbedömning*

Den svenska transportinfrastrukturen är till stora delar gammal; stambanorna är t.ex. 150 år gamla medan en stor del av vägnätet och dess broar är över 50 år gamla. Det mesta är därför redan byggt. Nyproduktionen brukar uppskattas till c:a 1 procent av den byggda miljön. Numera bygger vi broar för en tänkt livslängd på 120 år vilket ju är i paritet med storleken på utskiftningen. Vägarna byggs däremot bara för 40 år och ytskikten för ännu kortare tid (särskilt ifall de utgörs av det väsentligen dominerande materialet asfalt).



Korrekt tillståndsbedömning är nödvändig för att valet av underhållsåtgärder skall bli det optimala. Det finns många verktyg för tillståndsbedömning men flera av dem fungerar fortfarande bäst i laboratoriet. Nya konstruktioner kan förses med sensorer vilket gör att man kan följa tillståndet från dag 1. Det befintliga beståndet innebär större utmaningar.

Förebyggande underhåll, korrigerande underhåll, reparation och förstärkning utgör en kedja från enkla till allt mer omfattande åtgärder. I dagsläget lägger Trafikverket enbart 10 % på det förebyggande underhållet och frågan om huruvida det är optimalt är en viktig forskningsfråga.

## Prioritering av konstruktioner

Beslut behöver fattas angående om en konstruktion behöver repareras, bytas ut eller om den går att använda i oförändrat tillstånd. Vid dessa typer av utredningar kan det vara av värde att ta ett helhetsperspektiv, att noga utvärdera hur bron passar in i det omgivande trafiknätverket. Om ett längre tidsperspektiv tas med genom ett helhetsperspektiv kan onödiga reparationer och rivningar undvikas, vid t.ex. en bedömning att en bro behöver åtgärdas. Om helhetsöversynen ger att vägsträckan ändå kommer att förändras inom en snar framtid kan det räcka med enklare reparation eller tillfälliga restriktioner av maxvikt på fordon. Ytterligare studier inom detta kan bidra till mer effektivt utnyttjande av befintlig infrastruktur.

## Övervakning

Övervakning kan ske med oförstörande provningsmetoder som också kan användas inom tillståndskontroll. Skillnaden är att övervakning bör bedrivas kontinuerligt, dvs. utan nämnvärda uppehåll i tid. Därigenom får man möjlighet att registrera *händelser* och får också tillgång till *tidsserier*, vilka visar trender och naturliga parameterintervall förorsakade av t.ex. skillnader i fukt och temperatur. Sådana tidsserier är värdefullare ju längre de löpt, eftersom de ger information om naturliga variationer under det klimatiska året. Kompensation för sådana förändringar är en viktig del inom forskningen om övervakning (Fröjd & Ulriksen, 2017). Ofta refereras mätdata till en s.k. *baseline*, som är mätvärdena för en oskadad eller nyuppförd konstruktion (Worden m.fl., 2007). Det har visat sig att mätningar baserade på vågutbredning med fördel kan utföras i frekvensdomän även om mätningar i tidsdomän ännu är vanligast (Fröjd & Ulriksen, 2015).

Metoderna som används i övervakning måste kunna automatiseras så att mätningarna kan ske utan personal på plats. Om syftet är att följa en konstruktions hållfasthet talar det nära sambandet mellan hållfasthet, elasticitetsmodul och akustisk vågutbredning för metoder baserade på ljudvågor, se t.ex. översikten (Wiggenhauser & Niederleithinger, 2013). I vissa fall, som t.ex. övervakning av jorddammar kan resistivitetsfördelningen i dammen vara en alternativ parameter, eftersom problemen då ofta har med förändringar i vattenhalt att göra och sådana påverkar resistivitetsvärdena. Kombination av metoder kan ge säkrare slutsatser (Garnier m.fl., 2014). Artificiell intelligens kan användas för att behandla komplicerade datamängder (Gonzales & Karoumi, 2015).

Sambandet mellan tryckhållfasthet och ljudvågshastighet varierar starkt med ballasten i betongen, men mindre för en specifik betong. Därför lämpar sig ljudhastigheten för jämförande mätningar vid olika tider på ett givet objekt, men sämre för jämförelse mellan olika objekt. En konsekvens är att mätningar av ljudhastighetens spridning i en konstruktionsdetalj kan användas för att bedöma spridningen i hållfasthet. Denna jämte spridningen i lasterna utgör grunden för beräkning av säkerheten hos en konstruktion. *Kan spridningsmått minskas genom mätningar ökar den beräkningsmässiga säkerheten eftersom de överlappande delarna av fördelningskurvan för laster och hållfasthet minskar. Detta kan utnyttjas för att t.ex. öka lasterna. Dämpning och olinjäritet avseende vågutbredning är parametrar som uppvisar större känslighet för skador än ljudhastigheten.*

En händelse kan definieras som en högre derivata av någon eller några mätparametrar. En sådan händelse kan utlösa larm eller automatisk avstängning av t.ex. en bro (Karoumi & Sandberg, 2015). Den bör i normalfallet medföra visuell inspektion snarast och mer detaljerade undersökningar om inte orsaken befunnits vara trivial.

Övervakning benämns på engelska *Structural Health Monitoring* – SHM och brukar uppdelas i fyra nivåer (Rytter, 1993):

- 1) Något har hänt (*Detection*)!
- 2) Var inträffade skadan (*Localization*)?
- 3) Hur stor är omfattningen av skadan (*Assessment*)?
- 4) Hur påverkar skadan konstruktionens säkerhet (*Consequence*)?

Forskningsfronten ligger nu mellan nivå 2 och 3 enligt ovanstående indelning.

Efter att ett par brokollapsar av typen sprött brott inträffat i Kanada förses broarna där med utrustning för SHM. Vissa nya svenska broar har också sådana system, t.ex. Öresundsförbindelsen och Göta Älvbron.

Tillämpbarheten enligt TRL kvalificeringen befinner sig vid 7 – 8 beroende på vilken typ av mätningar som bedöms. Mätningar med optiska fibrer och akustisk emission (Drouillard, 1996) har kommit längre.

### **Värdering av metoder för tillståndsbedömning**

Hur bedöma vilken tillståndsbedömning som skall göras? Det utvecklas ständigt nya mätmetoder, mer och mer avancerade, vilket medför att det är möjligt att samla in stora mängder information. Detta medför dock att prioriteringar behövs. Forskningen bör inriktas till att fånga upp Trafikverkets behov och tona ner fokus på att en viss ny teknik skall tillämpas. Fokus bör ligga på vad som eftersöks, där lämplig metod utvärderas beroende på problem och vilken samlad nytta metoden kan göra både ekonomiskt och tekniskt. Det är av största vikt att inte bara samla in information för sakens skull, utan data bör hanteras med användningen i fokus. Det är även väsentligt att de data som samlas in går att använda över tid, dvs. görs teknikoberoende. Om en specifik typ av data måste ha ett visst format finns risken att det formatet inte stöds om ett antal år, då utvecklingen går fort framåt. För infrastruktur är det ett mycket långsiktigt perspektiv i driften, därför bör information kunna användas under lång tid. Forskningsfrågor inom detta är relaterade till utvärdering av mätmetoder, beslutsstöd kring hur dessa kan användas och hur val av metod bör göras samt kring hur det är möjligt att utvärdera hur effektiv en ännu inte testad metod är.

### **Tillståndsbedömning av infrastrukturens omgivning**

Ett annat område som bör belysas är kontroll och övervakning av tillståndet runt en konstruktion och inte bara själva konstruktionens tillstånd. Det kan gälla t.ex. flöden i vattendrag, där extrema flöden riskerar att orsaka stora skador. Detta öppnar möjligheter för proaktiva åtgärder vid extrema händelser, där det finns möjligheter att utveckla strategier baserade på verklig information. Ett exempel från Island är att vägsektioner tas bort för att släppa förbi vårfloden så att inte dyrare broar spolats iväg och förstörs. Det gäller även förändringar i trafiken, där kontroll av vilka laster som faktiskt finns på broar och andra byggnadsverk bidrar till att åtgärder kan sättas in i tid alternativt att broar kan utnyttjas mer effektivt. Forskningsfrågor inom detta är olika typer av övervakningssystem för tillståndet runt en konstruktion, t.ex. flöden och trafiklast, samt hur denna information bör kopplas till en specifik del av infrastrukturen.

## IT-baserade drift- och underhållsmetoder

En möjlighet är att börja ta fram system med möjlighet att använda digitala tvillingbroar (*Digital Twin Bridges*). Sådana modeller kan skapas utifrån projekteringshandlingar och sedan dateras upp vid broinspektioner med hjälp av nya typer av skanningssystem (laser, digitalfoto, infrafoto). Modellerna kan vara grunden vid bygginformations modellering (BIM). Upptäckta defekter kan också analyseras i datormodellen för att se vilka effekter de får.

Man bör börja i liten skala och prova sig fram. Det är lätt att skapa större och dyrare digitala modeller än vad nöden kräver. Icke-linjära beräkningar kan lätt bli mycket kapacitetskrävande. Å andra sidan går utvecklingen mycket snabbt, och det som idag kräver stor beräkningskapacitet kan om några år vara rutinberäkningar, se t.ex. , Bagge m.fl. (2017, 2018), Elfgren m.fl. (2018).

## Nya verktyg och beräkningsmodeller för tillståndsbedömning

Fullskaleförsök på konstruktioner kan ge information om kondition och funktion. Man kan utföra

- (1) Rutinmätningar för att kontrollera att nedböjning/styvhet stämmer överens med antaganden i bruksgränstillståndet (*Proof Loading*).
- (2) Genom att belasta olika brotyper till brott kan man lära sig hur brotypen verkligen fungerar och hur väl våra dimensioneringsmetoder speglar denna verklighet. Ofta finns en betydande överkapacitet.

Vad kan vi dra för slutsatser av de försök som redan genomförts och hur mäter vi på ett optimalt sätt på befintliga konstruktioner? Se t.ex. Häggström m.fl. (2016, 2017), Elfgren m.fl. (2018), Paulsson m.fl. (2016), Puurula m.fl. (2015), *Sustainable bridges* (2007).

## Oförstörande provning

Framtiden inom oförstörande provning och tillståndsbedömning av transportinfrastruktur ligger i kostnadseffektiva kontaktlösa mätningar som kan utföras utan att störa trafiken (Remillieux m.fl., 2014; Choi m.fl., 2016; Schabowicz & Gorzelanczyk, 2016). Nya metoder för tillståndsbedömning av vägar måste dessutom kunna mäta upp fundamentala materialegenskaper som används vid dimensionering (dynamisk styvhetsmodul och tjocklek). Tjocklekar kan idag uppskattas med radar och forskning pågår för att med hjälp av seismiska metoder uppskatta styvhetsmoduler (Bjurström & Ryden, 2017). I framtiden kommer sannolikt flera olika metoder att användas samtidigt och det finns intressanta möjligheter med att kombinera data från flera olika metoder (Brierley m.fl., 2014). Liknande utveckling behövs också inom järnvägskonstruktioner där räls, slipers, makadam osv bör kunna tillståndsbedömas med kontinuerlig oförstörande provning i hög hastighet.

Forskning inom oförstörande provning av betong har länge fokuserat på att upptäcka delaminering eller andra skador nära ytan på betongen (Malhotra & Carino, 2003) eller betongplattors tjocklek (Popovics m.fl., 2006). Det finns fortfarande ett stort behov av forskning och utveckling för att med oförstörande metoder kunna undersöka tjocka betongkonstruktioner och betong som är täckt av asfalt (tätskikt broar) eller fyllnadsmassor. För betongpålar finns det oförstörande provningsmetoder som redan används i branschen. Men för ”KC-pelare” och ”jet grouting” konstruktioner där behovet av kvalitetskontroll är mycket stort finns fortfarande inte några etablerade metoder (Lin m.fl., 2017). Inom detta område samt inom jordförstärkning generellt, finns en stor potential för framtida oförstörande provningsmetoder.

Utvecklingen inom digitalisering och nya mätmetoder ger också många intressanta nya tillämpningsområden. Optisk fiber har till exempel börjat användas istället för traditionella vibrationsgivare. Radar och digital bildbehandling är två andra metoder som också börjat användas för analys av vibrationer över större ytor. Drönarteknik och utveckling av AR (förstärkt verklighet) kommer sannolikt att också leda till nya tillämpningar inom tillståndsbedömning av transportinfrastruktur.

### **Brandsäkerhet och smarta byggnader i förvaltningsskedet (sensorer, funktionssäkerhet, etc.)**

Utvecklingen går framåt när det gäller smarta byggnader. Främsta drivkraften är bland annat god inomhuskomfort, automatisering, underlättande åtgärder för den äldre befolkningen och säkerhet mot olyckor (Batov, 2015). Till den senare kategorin finns åtgärder mot oönskade gasutsläpp, vattenläckage och bränder.

När byggnader förses med ökad styrning, övervakning och kontroll finns ett behov av att anpassa byggnadens brandskydd till ökade risker. Riskerna som är aktuella är främst kopplade till att säkerställa funktionen vid brand och att skapa förtroende för tekniken gentemot personer som vistas i byggnaden under branden. Med personer avses personer som vistas i byggnaden under normala omständigheter och räddningspersonal som ankommer i händelse av brand.

De brandrisker som kan vara aktuella är kopplade dels till den ökade närvaron av teknik, kablar och annan hårdvara, dels till de fel som kan uppstå när de tekniska systemen inte fungerar som avsett eller inte fungerar alls. Modeller och försök har genomförts avseende funktionsbeteende av kablar vid brand och dessa modeller är användbara för kopparkablar (Andersson, Van Hees, 2005; Janssens, Turner m.fl., 2012; McGrattan, 2008). Det har dock visat sig att samma teori inte går att applicera för optiska kablar som används mer och mer i kritiska infrastruktursystem (Rosenqvist, 2014). Vidareutveckling av metoder som beaktar funktionsbeteende är oerhört viktigt för komplexa byggnader och andra anläggningar främst för att kunna hantera antagonistiska hot (van Hees, Nilsson m fl, 2014).

Forskningen hittills inom området har fokuserats mot detektion av bränder för att möjliggöra styrning av evakuering och räddningsinsatser. Avsikten är att med utplacerade sensorer kunna förutse en kommande händelseutveckling och genom en dynamisk evakueringsplanering styra hur en utrymning skall genomföras (Wang 2015). Ett stort initiativ kring simulering *faster than real-time* togs genom projektet FireGrid (Han m.fl., 2010) som syftade till att förse personer i byggnaden med information om lämpligt agerande vid brand. Samtidigt bedrivs forskning för att inkludera metoder för tillförlitlighet riskbedömning i den praktiska designen och utformningen av byggnader (Nilsson, Frantzich m.fl., 2013). En stor del av forskning inom landet som är aktuell i sammanhanget har genomförts för att förstå interaktionen mellan styrsignalers utformning och den mottagande personens förväntade beteende. Här har forskning kopplad till utformning av utrymningsinstallationer för väg- och järnvägstunnlar varit framgångsrik (Nilsson, Frantzich m.fl., 2017, Ronchi, Fridolf m.fl., 2017). Just interaktionen mellan människa och teknik har visat sig vara väsentlig (Fridolf, Ronchi m.fl., 2013) och utgångspunkten för forskning är att beskriva tekniken i relation till människan. Här har *affordance*-teorin (Gibson 1978) visat sig vara framgångsrik som förklaringsmodell inom bland annat brandtekniken.

### **Brounderhåll**

En grundregel inom hållbart byggande är att det alltid är mer hållbart att förlänga livslängden än att bygga nytt. Liksom alla regler kan den naturligtvis ha undantag; tillståndet hos

konstruktionen kan vara alldeles för dåligt eller funktionen helt otillräcklig för dagens och morgondagens krav.

Under de senare decennierna har Trafikverket och dessförinnan Vägverket överfört resurser från *korrigering* till *förebyggande brounderhåll*. Idag går 10-15 % av underhållsbudgeten till förebyggande underhåll och 85-90 % till korrigering underhåll. Denna omfördelning har lett till betydande effektivitetsvinster men ytterligare besparingar är sannolika ifall omfördelningen fortsätter (Silfwerbrand, 2002; 2006; 2011).

Förr skilde man mellan förebyggande och korrigering underhåll men idag använder Trafikverket termerna *tidsstyrt* och *tillståndsstyrt underhåll* (Trafikverket, 2014a; Trafikverket, 2014b), där det förebyggande brounderhållet ryms inom det tidsstyrda. Trafikverket har vidare infört ett nytt system för brounderhåll, kallat *integrerat brounderhåll*, som innebär att en entreprenör under en period ansvarar för såväl det förebyggande underhållet som reparation av ett antal utpekade broar i ett område. Denna modell utvecklades med stöd av ett doktorandprojekt vid KTH (Mattsson, 2008).

Det förebyggande brounderhållet innehåller enkla åtgärder som renspolning, säkerställande av dräneringssystemets funktion, ogräsbekämpning, utjämning av ojämnheter, reparation av sprickor och riktning av räcken. Efter många försök lyckades KTH till slut genom samfinansiering från flera intressenter starta ett doktorandprojekt om förebyggande underhåll (Andersson m.fl. 2017). Fokus ligger här på renspolningens effekt på armerad betongs beständighet. Det är en god början men frågorna är många och forskningen om förebyggande underhåll enbart i sin linda. Självklart är inte det förebyggande underhållet begränsat till broar, ämnet är lika viktigt för andra anläggningar inom transportinfrastrukturen.

Det finns flera åtgärder som kan göras vid ny- och ombyggnad för att underlätta det förebyggande underhållet. En metod som Trafikverket tillämpar är impregnering av särskilt utsattas konstruktionsdelar som t.ex. kantbalkar. Hur man åstadkommer bästa möjliga impregnering och vilket resultat man på sikt kan få genom impregnering har studerats grundligt i en avhandling vid KTH (Selander, 2010). Men det finns fortfarande fler frågor att besvara: Är impregneringen kostnadseffektiv? Hur påverkar betongens karbonatisering resultatet? Hur fungerar impregneringen på lång sikt? Vad händer egentligen med fukttransporten och fuktfixeringen i betongen?

Det har funnits en (över)tro att det varit möjligt att bygga underhållsfira konstruktioner ifall man enbart är mycket noggrann med projektering, dimensionering, materialval, detaljutformning och utförande. Tyvärr har verkligheten visat att så inte är fallet. Alla konstruktioner i aggressiv miljö – och transportinfrastrukturens konstruktioner befinner sig utomhus där inverkan av väder och vind är påtaglig – kräver någon form av underhåll. Det gäller därför att utforma konstruktionerna så att de är lätta att underhålla. Mycket handlar då om åtkomst och arbetsmiljö. I ett pågående licentiatprojekt på KTH studerar Rafael Mancera underhållsvänliga anläggningskonstruktioner (Mancera & Silfwerbrand, 2016). Det är en intressant start men ett licentiatprojekt löser inte alla problem och ger heller inte alla möjligheter.

## Referenser

Drouillard, T.F. (1996), “ A history of acoustic emission”, *Journal of acoustic emission*, 14(1), pp.1–34.

Fröjd, P. and Ulriksen, P. (2017), “Detecting damage events in concrete using diffuse ultrasound structural health monitoring during strong environmental variations.”, *Structural Health Monitoring*. First published March 26 2017. Doi: 10.1177/1475921717699878.

Fröjd, P. and Ulriksen, P. (2015) “Amplitude and phase measurement of continuous diffuse fields for structural health monitoring of concrete structures”, *NDT & E International*, 77:35-41, Jan. 2015. Doi: 10.1016/j.ndteint.2015.10.003.

Garnier, V. m.fl.. (2014), “Non Destructive Testing of Concrete : Transfer from Laboratory to On-site Measurement”, In *EWSHM - 7th European Workshop on Structural Health Monitoring*. pp. 1489–1496.

Gonzalez, I. and Karoumi, R (2015), "BWIM Aided Damage Detection in Bridges Using Machine Learning," *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, vol. 5, no. 5, pp. 715-725, 2015.

Karoumi, R och Sandberg, M. (2015), ”Undvik ras - låt broarna larma själva, Ny Teknik, debatt, 25 aug., 2015. <https://www.nyteknik.se/opinion/undvik-ras-lat-broarna-larma-sjalva-6392378>

Rytter, A., (1993), “*Vibrational Based Inspection of Civil Engineering Structures*”, University of Aalborg.

Wiggenhauser, H. & Niederleithinger, E. (2013), “Innovative Ultrasonic Techniques for Inspection and Monitoring of Large Concrete Structures V”, L’Hostis & R. Gens, eds. *EPJ Web of Conferences*, 56, p.4004.

Worden, K. m.fl., (2007). The fundamental axioms of structural health monitoring. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 463(2082), pp.1639–1664.

.....

Bagge, Niklas. 2017. Structural Assessment Procedures for Existing Concrete Bridges. Experiences from failure tests of the Kiruna Bridge. *Doctoral Thesis, Luleå University of Technology*, ISBN 978-91-7583-879-3, 310 pp. <http://ltu.diva-portal.org/>

Bagge, Niklas; Popescu, Cosmin and Elfgren, Lennart. 2018. Failure tests on concrete bridges: Have we learnt the lesson? *Structure and Infrastructure Engineering*, 14(3) 292-319, DOI:10.1080/15732479.2017.1350985.

Elfgren, Lennart; Täljsten, Björn; Blanksvärd, Thomas; Sas, Gabriel; Nilimaa, Jonny; Bagge, Niklas; Tu, Yongming; Puurula, Arto; Häggström, Jens; Paulsson, Björn (2018): Load testing for quality control of bridges. Paper for COST TU1406 “Quality Specifications for Roadway Bridges”. Symposium in Wroclaw, March 2018, 6 pp. <http://ltu.diva-portal.org>

Häggström, Jens. 2016. Evaluation of the Load Carrying Capacity of a Steel Truss Railway Bridge: Testing, Theory and Evaluation. Lic. Thesis, Luleå University of Technology, 142 pp. <http://ltu.diva-portal.org/>

Häggström, Jens; Blanksvärd, Thomas; Täljsten, Björn. 2017. Bridge over Åby River – Evaluation of full scale testing. Research Report, Div. of Structural Engineering, Luleå University of Technology, 180 pp. <http://ltu.diva-portal.org/>

Paulsson, Björn; Bell, B; Schewe, B; Jensen, J S; Carolin, A; Elfgren, L. 2016. Results and Experiences from European Research Projects on Railway Bridges. *19<sup>th</sup> IABSE Congress Stockholm*, 2570-2578. ISBN 978-2-85748-144-4. <http://ltu.diva-portal.org/>

Puurula, Arto, Enochsson, O, Sas, G, Blanksvärd, T, Ohlsson, U, Bernspång, L, Täljsten, B, Carolin, A, Paulsson, B, Elfgren, L. 2015. Assessment of the Strengthening of an RC Railway Bridge with CFRP Utilizing a Full-Scale Failure Test and Finite-Element Analysis, *J. Struct. Engineering*, ASCE, 2015, 141, D4014008, 11 p

Sustainable Bridges. 2007. *Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives*. A European FP 6 Integrated Research Project during 2003-2007. Four guidelines and 35 background documents are available at [www.sustainablebridges.net](http://www.sustainablebridges.net):

.....

Bjurström, H. and Ryden, N., 2017, Non-contact rolling surface wave measurements on asphalt concrete. *Road Materials and Pavement Design*.  
<http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2017.1390491>

Brierley N, Tippetts T, Cawley P. 2014 Data fusion for automated non-destructive inspection. *Proc. R. Soc. A* 470: 20140167. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2014.0167>.

Choi H., Song, H., Tran Q.N.V., Roesler, J.R., and Popovics, J.S., 2016, Contactless System for Continuous Monitoring of Early-Age Concrete Properties, *Concrete International*, September 2016.

Lin, C.P., Lin, C.H., Chang, Y.C., Chien, C.J., 2017, Quantitative Interpretation of Surface Wave Testing for Assessment of Ground Improvement by Jet Grouting, *Proceedings Grouting 2017*, DOI: 10.1061/9780784480809.008.

Malhotra, V.M., Carino, N.J., 2003, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete Second Edition*, CRC Press, ISBN 9780849314858.

Popovics, J.S., Ryden, N., Gibson A., and Haas M., 2006, Guided wave approach for concrete pavement thickness estimation, In D. O. Thompson and D. E. Chimenti, editors. *Review of progress in quantitative NDE 33rd Annual meeting (American Institute of Physics, New York)*, Volume 26B, pp 1345-1352.

Remillieux, M.C., Anderson, B.E., Ulrich, T.J., Le Bas, P.Y., Haberman, M.R., Zhu, J., 2014, Review of Air-Coupled Transduction for Nondestructive Testing and Evaluation, *Acoustics Today*, Vol. 10(3), pp. 36-45.

Schabowicz, K., and Gorzelanczyk, T., 2016, A nondestructive methodology for the testing of fibre cement boards by means of a non-contact ultrasound scanner, *Construction and Building Materials*, Vol. 102, pp. 200–207.

.....

Andersson P., van Hees, P. (2005). Performance of Cables Subjected to Elevated Temperatures, Eighth International Symposium on Fire Safety Science, Beijing China September 2005.

Batov E.I, (2015) The distinctive features of "smart" buildings. *Procedia Engineering*, Vol 111, pp 103-107.

Fridolf K, Ronchi E, Nilsson D and Frantzich H. (2013). Movement speed and exit choice in smoke-filled rail tunnels. *Fire Safety Journal* Vol 59 pp8-21

Gibson, J. J., (1978). *The Ecological Approach to Visual Perception*, Houghton Mifflin Company, Boston.

Han L, Potter S, Beckett G, Pringle G, Welch S, Koo S-H, Wickler G, Usmani A, Torero J, Tate A (2010). FireGrid: An e-infrastructure for next-generation emergency response support. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Vol 70, Issue 11, pp 1128-1141.

Janssens M., Turner S., Tsuchino S. (2012), THIEF model evaluation for cables used in nuclear plants in Japan, 9th AOFST conference – Hefei.

McGrattan, K., (2008), Cable Response to Live Fire (CAROLFIRE), Volume 3: Thermally-Induced Electrical Failure (THIEF) Model, NUREG/CR-6931, Vol. 3, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA.

Nilsson D, Frantzich H, Ronchi E, Fridolf K, Lindgren Walter A & Modig H (2017). Integrating evacuation research in large infrastructure tunnel projects - Experiences from the Stockholm Bypass Project. *Fire Safety Journal* (In press).  
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.07.001>

Nilsson M, Frantzich H and van Hees P. (2013) Selection and evaluation of fire related scenarios in multifunctional buildings considering antagonistic attacks. *Fire Science Review*, Vol 2, Issue 3, pp 1-20

Ronchi E, Fridolf K, Frantzich H, Nilsson D, Lindgren Walter A & Modig H (2017). A tunnel evacuation experiment on movement speed and exit choice in smoke. *Fire Safety Journal* (In press). <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.06.002>.

Rosenqvist J, (2014), Fiber optics communication failure modes, Report 5474, Lund University Lund.

Van Hees P, Nilsson M, Frantzich H, Andersson B, Lange D, Strömgren, M, Sjöström N, (2014) SAFE MULTIBYGG Slutrapport, Riskidentifiering, analys och åtgärds metodik för olycksförebyggande arbete för multifunktionella byggnader med avseende på specifika antagonistiska hot, LTH Rapport 3174, Brandteknik, Lunds Universitet, Lund.

Wang J, Zhao H, Winter S (2015). Integrating sensing, routing and timing for indoor evacuation. *Fire Safety J*, Vol 78, pp111-121.

.....

Andersson, L., Silfwerbrand, J., Selander, A., & Trägårdh, J., (2017): "Preventive Bridge Maintenance in Sweden – Introduction to a PhD Project". Proceedings, XXIII Nordic Concrete Research Symposium, Aalborg, Denmark, Aug. 21-23, 2017, pp. 241-244.

Mancera, R., & Silfwerbrand, J., (2016): "Maintenance-Friendliness in Management of Civil Engineering Structures". Proceedings, 19<sup>th</sup> IABSE Congress, Stockholm, Sweden, Sept. 21-23, 2016.

Mattsson, H.-Å., (2008): "Integrated Bridge Maintenance – Evaluation of a Pilot Project and Future Perspectives". Bulletin No. 95 (Doctoral Thesis), Chair of Structural Design & Bridges, School of Architecture and Built Environment, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, 236 pp.

Selander, A., (2010): "Hydrophobic Impregnation of Concrete Structures: Effects on Concrete Properties". Bulletin No. 104 (Doctoral Thesis), Chair of Structural Design & Bridges, School of Architecture and Built Environment, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.

Silfwerbrand, J., (2002): "Aktivt brounderhåll – en förstudie" ("Active Bridge Maintenance – A Pilot Study"). *Report* No. 65, Chair of Structural Design & Bridges, Department of Structural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, 65 pp. (In Swedish).

Silfwerbrand, J., (2006): "Impregnation – An Efficient Method of Active Bridge Maintenance". *International Journal on Restoration of Buildings and Monuments*, Vol. 12, No. 1, pp. 3-12.



Silfwerbrand, J., (2011): "Improving Preventive Maintenance". ACI Special Publication No. SP-277CD ("Recent Advances in Maintenance and Repair of Concrete Bridges"), American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, pp. 67-78.

Trafikverket (2014a): "Brounderhåll Krav". TDOK 2013:0415. Borlänge, 41 s.

Trafikverket (2014b): "Brounderhåll Råd". TDOK 2013:0416. Borlänge, 30 s.

## Bilaga 1: Sammanställning av grupparbetet i Bäckaskog

### Förslag från SBU:s högskolekonferens i Bäckaskog 16 aug. 2017

Nedan visas en sammanställning av de förslag som kom fram vid rubricerad konferens. Övertecknad har sökt sammanfatta texter av olika längd i ett antal nyckelord och korta fraser. En del förslag saknade tyvärr rubrik. Likt på en konstutställning har de markerats med "Utan titel".

Nr	Omr.	Rubrik	Nyckelord	Förslagsställare (1:a namn)
1	1	(Utan titel)	Dela upp i trafik & infrastruktur. Klimat relativt känt gm IVL, EPD. Definition av bitumen som fossil råvara & dess möjligheter i en cirkulär ekonomi.	Ronny Andersson
2	1	Alternativ till betong i infrastrukturen	Utveckling av mindre CO2-emitterande material alt modifiera betongen i samma riktning.	Per Tengborg
3	1	Elbussinfrastruktur	Utformning av tunnlar för kollektivtrafik. Demoanläggning för elbusstunnel.	Anders Markstedt
4	2	(Utan titel)	Hur kan infrastrukturnätverket integreras bättre i övriga samhällsbyggnadsplaneringen kring t.ex. bostäder, arbetsplatser, skolor, sjukhus, affärer, restauranger?	Gerhard Barmen
5	2	App för intermodalt resande	Tekniskt, rikstäckande system för allt resande.	Magnus Brink
6	3	(Utan titel)	Fronten långt framme. Mer kunskap om nya mtrl för större flexibilitet & mindre störningar. Hur sprica kunskap från liten "klick" med stor till "stora massan"?	Lahja R Forssbeck
7	3	(Utan titel)	Livscykelperspektiv, tillgänglighet, årliga förbättringar, hållbarhetssyn. Fragmenterad kunskap & kompetens. Funktionskrav från tillgänglighet.	Ronny Andersson
8	3	Biltrafik under jord	Vad lära av Förbifarten?	Camilla Byström
9	3	Integrerad design av infrastrukturkonstruktioner	En projekterings- & produktionsprocess för att skapa kostnadseffektiva & hållbara infrastrukturkonstruktioner. 2030: En elaborerad process mellan beställare, projektör, entreprenör	Mats Karlsson
10	3	Nya konstruktionsmaterial & materialkombinationer	För effektivare och mer hållbara konstruktionslösningar. Ex: Fiberarmerade polymerer,	Mikael Hallgren

			stålfiberbetong, spännbetong.	
11	4	(Utan titel)	Mer kunskap om mekanismer som styr dagens nyttjande av transportinfrastrukturen. Hur förutse förändringar i rese- & transportmönster? Hur förändra samhället så att bilberoendet minskar?	Lahja R Forssbeck
12	4	(Utan titel)	Koppla ihop planering-projektering-bygg. Produktionsautomatisering. Fokus på tillgänglighet.	Ronny Andersson
13	4	ACAP i TrV m.fl. org.	Generell policy vs innovationsstrategi. Specialistfunktioner vs projektledning. Projektledarrollen vs innovation.	Anna Kadefors
14	4	Analys av infrastrukturens produktivitetseffekter	Hur påverkar lokalisering & utformning?	Jan Bröchner
15	4	Automatiserat tunnelbyggande	Inga arbetsplatskador, hög kapacitet, hög kvalitet, god ekonomi.	Per Tengborg
16	4	Beslutsmodell för teknikval/skiften	Val av nya transportlösningar, komponenter etc. måste grundas på robusta, tillförlitliga metoder. Modell skapas.	Lars Redtzer
17	4	Effektiv cykelinfrastruktur	Högre kvalitet (bredd) i det som byggs. Rimlig kostnad. Tänk på ökat antal skadade & döda.	Anna Kadefors
18	4	Fler fulla fordon	Hur används infrastrukturen? Transportmönster & behov: Ökad samlastning & returflöde.	Viktoria Sundquist
19	4	Fler totalentreprenader med långt driftansvar	Ökade möjligheter för innovativa lösningar med god hållbarhet.	Johan Silfwerbrand
20	4	Förbättrade uppköpsmodeller	Bättre långsiktighet. Dra mer nytt av enskilda projekt & utveckla verktyg. Kunskaper om att samverka & hur man samverkar.	Anna Kadefors
21	4	Lärande inom samverkan	Hur skall TrV organisera sig för att långsiktigt utveckla sin förmåga att leda samverkan i byggande & drift?	Anna Kadefors
22	4	Ny, integrerad planeringsprocess	Lagstiftning, förordning, förhållningssätt, samverkan, tvärvetenskap.	Per Tengborg
23	4	Utnyttja transportinfrastruktur	Påverka hur man väljer transportmetod. Vad styr förändringsprocesser? "Nudging" processer.	Anna Kadefors

24	5	(Utan titel)	Manuella system. Manuella beslutsstöd. Beslutsstöd – analys & logik. Kartläggning.	Ronny Andersson
25	5	Analysmetoder & utvärdering av tillstånd i infrastrukturkonstruktioner	Ökad prestanda & livslängd hos bef. konstruktioner liksom möjligheter att ställa krav vid nyproduktion. 2030: Säkerställa verifiering & värdering efter lång tid.	Mats Karlsson
26	5	Bärighet hos befintliga konstruktioner	Tillståndsbedömning, mätning, reparation, förstärkning, livslängdsuppskattning. Riktlinjer för projektering, nybyggnad & underhåll. Bättre ekonomiska styrmedel. ”Hands-on-erfarenhet”.	Lennart Elfgrén
27	5	Förebyggande underhåll	Hypotes: FUH ger stora förbättringar avseende funktion & livslängd → ekonomi & hållbarhet.	
28	5	Mer precisa metoder för icke-förstörande tillståndsbedömning av heterogena mtrl	Hur mycket varierar egenskaperna hos broar, tunnlar, vägar? D&U som kan dra nytta av tillståndsbedömningen.	Gerhard Barmen
29	5	Realtidsdata för tillståndsbedömning väg	Moderna bilar samlar in mängder av data som skulle kunna användas & analyseras för vägunderhåll.	Anders Markstedt
30	-	Implementering av forskningsresultat	Ökat nyttiggörande. 2030: Elaborerad besluts-, organisations- & styrfunktion hos beställare & företag	Mats Karlsson
31	?	Innovationssystem i infrabygandet	Hur utveckla? Vilken roll har nätverk som InfraSweden, BeFo? Aktörers kapacitet & systemets kapacitet.	Anna Kadefors
32	1, 3	Trust +	Forts för stora TRUST-projektet. Nu med fokus på hur förundersökningsresultat kan inkluderas i design & byggmetoder för byggande under mark.	Maria Ask
33	1, 3, 4	Effektiv cykelinfrastruktur	Effektivare planering, byggande & underhåll för vägar för cyklar & elcyklar.	Anders Markstedt
34	2, 3	Värdering av infrastruktur	Olika delar av infrastrukturen är i olika grad kritiska för samhället. Klimat, terror. Riskerna är olika. Hur prioritera? Vem skall prioritera?	Oskar Larsson-Ivanov
35	2, 3, 5	Bedömning & utnyttjande av infrastruktur	Mycket gammal infrastruktur. Hur bedöma tillstånd & bärförmåga? Vilka lastmodeller kan användas? Mätningar, analyser, samverkan.	Oskar Larsson-Ivanov
36	2, 4	Logistik i förtätad stadsmiljö	Integrera logistiklösningar; olika transportsätt, olika aktörer, olika gemensamma resurser & utrymme i	Viktoria Sundquist

			ny & bef. infrastruktur.	
37	2, 5	IT & transport- infrastruktur	Sensorer – hela kedjan. Möjligheter som inte används. Rätt nivå på D&U. Driftsäkra jvg-system.	Camilla Byström
38	3, 5	Övervakning med kunskap	Många metoder tillgängliga för övervakning, monitoring. När använda vad? För vad? Mätning i realtid. Hur använda kunskapen?	Oskar Larsson- Ivanov