

Seminarieuppsatser nr 150

Klimatförändringarnas inverkan på de svenska vägarna

Peggy Karlsson

2008
Centrum för Geobiosfärvetenskap
Naturgeografi och Ekosystemanalys
Lunds Universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund



Förord

Detta är ett examensarbete på kandidatnivå i Naturgeografi och Ekosystemanalys. Uppsatsen motsvara 15 hp och är skriven vid Lunds universitet VT-08.

Kurschef är Jonas Ardö och handledare är Jonas Åkerman.

Jag vill tacka Jonas Åkerman, Helen Thorstensson samt Stina Ingesson för de råd, stöd och uppmuntran de bidragit med under skrivandets gång.

Peggy Karlsson

Abstract

This essay investigates how the Swedish roads will be affected if the climate scenarios will come true and how the climate changes influences the vulnerability of the roads.

The essay answers the questions of which climate factors it is that influences the roads, how to adjust the road building to the climate changes and how to prevent damage on existing roads due to the climate changes.

Key words: Geography, physical geography, climate change, road, erosion, flood, mass movement , precipitation, temperature.

Abstrakt

Denna uppsats undersöker hur de svenska vägarna kommer att påverkas om klimatscenariona slår in och hur klimatförändringarna påverkar vägarnas sårbarhet.

Uppsatsen svarar på frågorna om vilka klimatafaktorer som påverkar vägarna, hur vägbyggen ska anpassas till klimatförändringarna samt hur man kan förebygga skador på de befintliga vägarna som orsakas av klimatförändringarna.

Nyckelord: Geografi, Naturgeografi, klimatförändring, väg, erosion, översvämning, ras, skred, nederbörd, temperatur.

Sammanfattning

Detta examensarbete är skrivet på kandidatnivå vilket motsvarar 15 hp. Det är en litteraturstudie där redan befintlig kunskap sammanställs, jämförs och diskuteras. Syftet är att undersöka hur de svenska vägarna kan drabbas om de klimatscenario som finns slår in, hur det påverkar vägarnas sårbarhet samt vad som kan göras för att anpassa vägarna till kommande klimat. Följande frågor ska besvaras och diskuteras:

- Vilka klimatfaktorer bör vägarna anpassas efter?
- Vilka anpassningar är nödvändiga då vägar ska byggas?
- Hur kan det förebyggas att skador uppkommer på befintliga vägar?

Begränsningar har gjorts för att inte överskrida den satta tidsramen. I uppsatsen behandlas t.ex. inte hur vägar, tunnlar eller broar är byggnadstekniskt konstruerade eller ingenjörsmässigt dimensionerade. Dessutom nämns bara kortfattat hur översvämmade sjöar och dammreglering påverkar vägarna.

De klimatfaktorer som i första hand påverkar vägarna är nederbörd och höga flöden, vind, havsnivå, temperatur och isbeläggning. Konsekvenser som dessa klimatfaktorer sekundärt kan leda till är ökad frekvens av bl.a. ras, skred, erosion, översvämningar, snödrev, bortspolade vägar samt underspolade brostöd.

Anpassningar vid nybygge av väg och förebyggande åtgärder på befintliga vägar handlar till stor del om att öka risktänkandet. Vid dimensioneringen av nya vägar bör säkerhetsmarginalerna utökas. Väganläggningarna måste dimensioneras med hänsyn till de klimatfaktorer som förväntas under hela dess livslängd. Det är viktigt att välja återkomsttider och material så att konstruktionerna står emot de vind, temperatur och nederbörds påfrestningar som kommer i framtiden.

Det finns många åtgärder som kan sättas in för att förebygga skador på befintliga vägar. Mindre ombyggnationer i form av förstärkning av erosionsskydd och vägunderbyggnader är några. För att undvika översvämning och vattendämning vid vägtrummor kan man installera skyddsnet en bit uppströms för att samla upp material som annars skulle sätta igen trumman. Man kan också byta ut trummorna till nya med större dimension eller installera fler trummor. Det är också viktigt att underhålla och rensa skyddsneten, diken och andra avvattningsystem. Vissa lågt liggande broar behövs byggas om och höjas för att de inte ska översvämmas.

Innehållsförteckning

Förord	2
Abstract	3
Abstrakt	4
Sammanfattning	5
Ordlista	7
1 Inledning	9
1.1 Klimatets utveckling	10
1.2 Vägarna	11
1.2.1 Dagens vägar.....	11
1.2.2 Broar	12
1.3 Ansvarsfördelning och reglerande lagar	13
2 Framtida klimatscenarion	15
3 Sluttningsprocesser	19
4 Resultat	20
4.1 Ökad nederbörd och höga flöden.....	20
4.2 Temperatur.....	25
4.3 Havsnivå	26
4.4 Vind.....	27
4.5 Översvämmade sjöar.....	27
5 Åtgärder	28
5.1 Förebyggande åtgärder på befintliga vägar.....	28
5.2 Framtida vägbyggen.....	29
5.3 Konsekvenser och kostnader för samhället.....	31
6 Forskning och utveckling	34
7 Diskussion	35
8 Slutsats	36
9 Referenser	40
<u>Bilaga 1</u> Handlingsplan	42
<u>Bilaga 2</u> Förslag	44
<u>Bilaga 3</u> Förslag till åtgärder för att anpassa vägtransportssystemet till ett ändrat klimat	46
<u>Bilaga 4</u> Anpassningsåtgärder och överväganden	47

Ordlista

Aktivt lager – de ytliga delarna av marken i ett permafrostområde, vilka årligen töar och åter tjälas. (Ne 2008-05-30c)

Egenfrekvens – antalet svängningar per sekund hos en konstruktion som får svänga fritt. Om vinden alstrar vibrationer med samma frekvens som en bros egenfrekvens uppstår resonans och rörelsen förstoras kraftigt. (Ne 2008-05-19)

Högsta kända vattenyta (HHW) – anger den högst kända vattenytan under en period. Uppgifterna ges av SMHI. (Vägverket, 2002).

Kohesion – egenskap hos materials molekyler att attraheras till varandra utan kemisk bindning. Hos jordarter varierar dessa krafter mycket, från att vara närmast obefintliga hos sandjordar till att vara störst i finkorniga jordarter där kontaktytorna är många per jordvolymenhet, dvs. i jordar med hög ler- och silthalt. (Ne 2008-05-30b)

Nipa – brant sandsluttning vid älvstrand typisk för vissa delar av Norrland (Ne 2008-05-10)

Plattrambro – En bro där överbyggnaden består av en platta i betong som är hopbyggd med brostöden (Vägverket, 2007)

Slamström – ”...en vattenmättad finjordsrik flytande massas snabba rörelse nedför en sluttning. En slamström kan innehålla ända upp till 60 % vatten.” (Ne 2008-05-21)

Snödrev – ”snöpartiklar som lyfts från ett snötäcke av vinden och driver iväg med luftströmmen. Snödrev omfördelar stora volymer snönederbörd i horisontell led och vållar stora problem för vägtrafiken.” (Ne 2008-05-30d)

Swedish Regional Climate Modelling Programme (SWECLIM) – är ett Svenskt klimatmodelleringsprogram som var verksamma 1997 – 2003. De forskade för att öka kunskapen om hur Nordens och framförallt Sveriges klimat kan komma att se ut på 50 och 100 års sikt. (SMHI, 2008-04-17)

Teknisk livslängd – den tid under vilket byggnadsverket/vägen eller delar av den uppfyller avsedd funktion med ”normalt underhåll”. (Vägverket, 2004)

Återkomsttid (eng. Return period) (årsflöde) – ett mått på sannolikheten för att t.ex. ett visst vattenflöde ska överskridas ett givet år (Vägverket, 2002). En händelses återkomsttid inträffar eller överskrids i genomsnitt en gång inom denna tid. Sannolikheten att ett 100-årsflöde inträffar är alltså 1 på 100 varje enskilt år. Eftersom t.ex. en väg har en mycket längre livslängd än ett år och exponeras för risken under hela livslängden så kommer sannolikheten att ackumuleras under hela livslängden. Exempelvis så är sannolikheten 63 procent att en väg som lever i 100 år i ett område med 100-årsflöde ska översvämmas en gång under den tiden. Tabellen nedan visar vilket förhållande som gäller mellan ett antal återkomsttider och sannolikheten för att ett sådant flöde ska uppkomma ett speciellt år inom ett tidsintervall på 10, 50 respektive 100 år. (Bergström *et al.*, 2006)

Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent.
(Häggström, 2001)

Återkomsttid i år	Sannolikhet under 10 år (%)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
10	65	99	100
100	9,6	39	63
1 000	1,0	4,9	9,5
10 000	0,1	0,5	1,0

1 Inledning

”Anpassningar av transportinfrastrukturen till ett förändrat klimat bör ingå i de transportpolitiska målen. Medel till klimatanpassning av transportinfrastrukturen bör avsättas. Riskerna, framför allt i väg- och järnvägsnätet, bör kartläggas och åtgärder genomföras”. (Holgersson *et al.*, 2007)

Citatet kommer från sammanfattningen av Klimat och sårbarhetsutredningen som utgavs av Regeringen den 1 oktober 2007.

Global uppvärmning, växthuseffekten och klimatförändringar är ständigt på tapeten i dagens media och så gott som alla är medvetna om innebörden. Den mest etablerade debatten är nog om hur och vad vi kan göra för att minska utsläppen och på så sätt bromsa klimatförändringarna. Internationella överenskommelser för att minska utsläppen finns. Förenta Nationernas ramkonvention om klimatförändringar, Klimatkonventionen, är en internationell överenskommelse som trädde i kraft 1994. Fram till idag har mer än 200 länder skrivit under överenskommelsen. Konventionen kom till för ett gemensamt arbete med att förhindra klimatförändringar. (Naturvårdsverket, 2007a) De nationer som undertecknat konventionen bör göra allt för att förutse, förhindra och minimera orsakerna till klimatförändringar. De bör inrätta nationella program för att motverka klimatförändringar samt samarbeta för att underlätta arbetet att anpassa samhället till ett förändrat klimat. (Naturvårdsverket, 2007b)

Att anpassa samhället till ett förändrat klimat är mycket aktuellt eftersom vi inte kommer hinna stoppa klimatförändringarna. De är redan så pass långt gångna och även om åtgärder utförs idag för att stoppa dem kommer inte effekten av dem att märkas förrän långt in i framtiden. Det vi kan göra i dagsläget för att minska konsekvenserna av dessa förändringar är således att anpassa samhället efter dem.

I denna uppsats studeras hur en anpassning av transportinfrastrukturen kan göras till ett förändrat klimat. Det är dock bara vägnätet som studeras vilket lämnar järnvägsnätet, luftfarten och färjetrafik utanför.

Syftet är att undersöka hur de svenska vägarna kan drabbas om de klimatscenarion som finns slår in, hur det påverkar vägarnas sårbarhet samt vad som kan göras för att anpassa vägarna till kommande klimat. Följande frågor ska besvaras och diskuteras:

- Vilka klimatfaktorer bör vägarna anpassas efter?
- Vilka anpassningar är nödvändiga då vägar ska byggas?
- Hur kan det förebyggas att skador uppkommer på befintliga vägar?

Uppsatsen är en litteraturstudie där redan befintlig kunskap sammanställs och diskuteras. Kunskapen är insamlad från en rad olika källor med den gemensamma nämnaren att det gäller statliga vägar. De framgår dock i många källor att kommunala och enskilda vägar förväntas påverkas på liknande sätt och att samma åtgärder för att klara av klimatförändringarna är aktuella även för dessa vägar.

Begränsning har gjorts för att hålla den givna tidsramen för kursen. Delar som utelämnas eller bara nämns mycket kortfattat är t.ex. hur översvämningar av sjöar påverkar vägarna samt dammregleringens inverkan på flödet i vattendragen. Denna uppsats är inte heller skriven för att presentera hur vägar, tunnlar eller broar är byggnadstekniskt konstruerade eller ingenjörsmässigt dimensionerade.

1.1 Klimatets utveckling

Klimatet, vädret och temperaturerna förändras runt om i världen. Det kan bero på en, flera eller en kombination av många faktorer. Klimatförändringarna som uppstår som en följd av antropogena växthusgasutsläpp som leder till global uppvärmning är en faktor. Att vintrarna i norra Europa på senare tid har varit förhållandevis milda och nederbördsrika kan också förklaras med att den nordatlantiska oscillationen (NAO) har förändrats de senaste decennierna. Som det är nu så dominerar kraftiga västliga vindar över Atlanten under vintern och ger Nordeuropa, inklusive Sverige, ett mildt klimat medan det blir kallare än vanligt i de västliga delarna av Atlanten. NAO och andra oscillationer i klimatsystemet har sina naturliga fluktuationer men det kan för det inte uteslutas att de rubbas och sätts ur balans p.g.a. mänsklig klimatpåverkan. (Bernes, 2003)

Under 1900- talet steg den globala medeltemperaturen vid markytan med ca 0,6 °C. Den globala temperaturökningen som pågår är möjlig att upptäcka trots lokala klimatfluktuationer. På grund av att lokala fenomen förekommer så är det svårt att urskilja mer långsiktiga temperaturförändringar inom ett begränsat område så som Sverige. Under de senaste åren har man dock kunnat urskilja högre medeltemperaturer än normalt även i Sverige (Bernes, 2003).

Till skillnad från temperaturökningen så är nederbördsökningen mycket tydlig i Sverige. Under 1900- talet ökade genomsnittsnederbörden med 20 procent i landet. Framförallt har nederbörden ökat under höst, vinter och vår. (Bernes, 2003) Dessutom tenderar mer nederbörd falla som regn istället för snö på grund av den stigande temperaturen. Speciellt i början och slutet (höst/vår) av vintersäsongen när temperaturen ligger runt 0°C. (IPCC, 2007).

Enligt den s.k. Clausius-Clapeyron relationen finns ett direkt samband mellan lufttemperatur och luftfuktighet/vattenhållningskapacitet i atmosfären. När temperaturen ökar med 1°C så ökar vattenhållningskapaciteten hos atmosfären med 7 procent. Detta innebär följaktligen ökad risk för stora nederbördsmängder eftersom molnen innehåller mer vatten. (IPCC, 2007).

En följd av den ökade nederbörden är ökad markfuktighet och avrinning. Man har observerat en viss flödesökning i norrlandsälvarna de senaste åren. Fler tillfällen med extremt höga flöden med översvämning som följd har också iakttagits, speciellt under höstsäsongen. I södra Sveriges vattendrag däremot finns inga tecken på ökade flöden. Detta kan verka konstigt, men förhöjd temperatur innebär också en ökad avdunstning. Likaså har markanvändningen ändrats, exempelvis har jordbruksmark på många ställen återbeskogats, och det leder också till förhöjd avdunstning. (Bernes, 2003)

Havsvattennivån har globalt stigit med 10-20 cm under 1900-talet och stiger fortfarande. Dessutom förväntas stigningshastigheten att öka under det nuvarande

århundradet. Det finns framförallt två bidragande orsaker till varför havsvattennivån stiger. Den ena är att vattnets volym i havet ökar då vattentemperaturen ökar och den andra anledningen är att is på land smälter och fyller på haven. I dagsläget är det volymökningen av vattnet p.g.a. temperaturhöjningen som står för störst del av nivåhöjningen. I framtiden förväntas dock bidraget från den avsmälta landisen öka. (IPCC, 2007) I norra Sverige pågår landhöjning som kompenserar för det stigande vattnet. I södra Sverige däremot sköljer vattnet in mer och mer över land i takt med att vattenytan höjs, i kombination med att det samtidigt finns en liten landsänkning. (Bernes, 2003)

1.2 Vägarna

Det svenska vägnätet består av 9 800 mil statliga vägar, 3 700 mil kommunala vägar och 28 000 mil enskilda vägar (Holgersson *et al.*, 2007). Tillsammans utgör de en total längd av 415 000 km vilket ungefär motsvarar sträckan 10 varv runt jorden. (Castensson, 1992)

Det är staten, kommunen eller enskilda som ansvarar för vägarna, d.v.s. är väghållare. (Castensson, 1992) Väghållaren har juridiskt ansvar för att hålla vägen farbar. (Nordlander *et al.*, 2007) Väghållning omfattar byggnad av väg och drift av väg (SFS 1971:948). Enskilda vägar hålls bl.a. av vägföreningar, vägsamfälligheter och samhällighetsföreningar. (Nordlander *et al.*, 2007) Statliga vägar är landsvägar och riksvägar där även europavägar räknas in. (Castensson, 1992) Riksvägarna är viktiga för Sveriges infrastruktur och går ofta genom flera län. Europavägarna är viktiga för Europa och binder ihop de olika länderna. På många ställen sammanfaller riksvägar och europavägar. Landsvägar är de statliga vägar som inte är riks- eller europaväg. De delas in i primära, sekundära och tertiära landsvägar beroende på dess betydelse för samhället. (Nordlander *et al.*, 2007).

Regeringen har också utsett ett nationellt stamvägnät. Dessa vägar anses vara betydelsefulla för landet som helhet eftersom de bidrar till Sveriges ekonomi och välfärd. Dessa vägar ska vara sammanhängande och ha en hög och jämn standard. Stamvägnätet sträcker sig främst i nord-sydlig riktning men tvärförbindelser finns. I Götaland och södra Svealand där befolkningstätheten är störst finns också en del diagonala stamvägar. Stamvägnätet förbinder Sverige med Danmark, Norge och Finland. Dessutom finns färjelinjetrafik anknuten till vägarna till Finland, Baltikum, Polen, Tyskland, Danmark och Storbritannien. (Nordlander *et al.*, 2007).

Det är viktigt för Sverige att ha en fungerande och pålitligt vägnätsförbindelse. Vägnätet ska vara av hög standard, säkert, miljöanpassat och tillgängligt för alla människor (Vägverket, 2008). Vi måste se till att upprätthålla en god standard trots att klimatförändringarna i många fall gör vägarna mer sårbara. De klimatfaktorer som främst påverkar vägar är nederbörd, höga flöden, isbeläggning, temperatur, havsnivå och vind. (Holgersson *et al.*, 2007) Längre fram i uppsatsen behandlas hur dessa faktorer påverkar vägarna nu och i framtiden.

1.2.1 Dagens vägar

När vägarna dimensioneras är det viktigaste att förebygga personskador där efter tar man hänsyn till kostnaderna för väghållaren. Däremot tas inte någon direkt hänsyn till konsekvenserna för transportförsörjningen. (Vägverket, 2002)

Vägverket uttrycker i en av sina publiceringar att vägskadorna som är måttliga och som inte inträffar oftare än 1-2 gånger på 100 år är accepterbart. Däremot är det inte godtagbart om skadorna är mer frekventa, skadorna är allvarliga och dyra att återställa och då vägar måste stängas av under en längre period. (Vägverket, 2002).

För nybyggda vägar finns krav på att vägöverbyggnaden och trummorna under vägen ska vara dimensionerade så att vägbanan ”mycket sällan eller enbart under speciella topografiska förutsättningar ställs under vatten”. (Vägverket, 2002).

Väggkonstruktioner som är äldre än 50 år har i allmänhet inte konstruerats efter gemensamma standarder eftersom sådana överenskommelser inte fanns då. Äldre vägar är ofta inte dimensionerade för att klara av dagens ökade porvattentryck (se kap 3.) I de flesta fall är vägarna dimensionerade för flöden motsvarande en återkomsttid på 50 år. Många av dessa vägar har dock förbättrats fortlöpande. Vägar dimensioneras i allmänhet med hänsyn till flöden och vattennivåer under konstruktionens förväntade livslängd. (Vägverket, 2002) Byggnader och infrastruktur har ofta en livslängd på 100 år eller mer. (Rankka & Rydell, 2005) Det är därför viktigt att räkna med att klimatet ändras under vägens livstid och redan vid uppförandet ta hänsyn till de väderförhållandena som kan förekomma.

Vid dimensionering av erosionskydd i vatten för vägar utgår man från 1,3 gånger vattnets medelhastighet vid 50 årsflödet. Finns det stor risk för allvarliga personsador eller om vägen är i anslutning till en bro så utgår man i stället från 1,5 gånger vattnets medelhastighet. Vid konstruktionen av broar upp till 25 m längd dimensioneras erosionskyddet för 1,5 gånger vattnets medelhastighet för 50-årsflödet. (Vägverket, 2002) Då bron är längre avpassas, sedan mitten av 1990-talet, efter 100 årsflödet. (Nordlander *et al.*, 2007) Anledningen att man räknar med 1,3 respektive 1,5 gånger flödets medelhastighet är att man vill ha en säkerhetsmarginal till 50-årsflödet samt att lokala ökningarna av flödes hastigheten kan uppstå, exempelvis vid brostöden.

För att förebygga skred och ras ska vägen dimensioneras efter den mest ogynnsamma kombinationen av vattennivå och porttryck med 50-års återkomsttid. (Vägverket, 2002)

1.2.2 Broar

Enligt Vägverket är alla byggnadsverk med en fri öppning större än 2,0 meter en bro. Alla byggnadsverk med en mindre öppning än så kallas för vägtrumma. Då vägtrumman är rund kallas det rörbro. (Vägverket, 2007)

Det finns totalt ca 15 600 broar i Sverige varav 12 600 på statliga och kommunala vägar och resten på enskilda vägar. (Castensson, 1992) Drygt hälften av broarna går över vattendrag. (Nordlander *et al.*, 2007)

Idag dimensioneras nya broar efter vägverkets publikation 2004:56 ”Vägverkets allmänna tekniska beskrivning av nybygge och förbättring av broar, Bro 2004”. Erosionsskydd dimensioneras efter de krav som framgår av vägverkets publikation 1987:18 ”Erosionsskydd i vatten vid väg och bro byggnad”. (Nordlander *et al.*, 2007)

Vid nybygge av broar finns krav på att broöverbyggnaden ska ligga minst 0,3 meter över den högsta kända vattenytan (HHW) och minst 1,2 meter över medelvattenytan (MW). (Vägverket, 2002). Det anses lågt och det är dessa broar, byggda sedan 1989 när gränsen bestämdes, samt äldre broar kortare än 8 meter som är extra känsliga vid höga flöden eftersom en del av dem har en fri höjd på som mest 0,3 meter över MW. (Holgerson *et al.*, 2007)

Erosionsskydd behövs då en bro ska byggas över ett vattendrag vars botten består av morän eller andra friktionsjordar. Här ställs brostöden och dess bottenplatta direkt på jorden och utan skydd är risken för erosion under bottenplattan stor. Om ett hål bildas genom erosion vid bottenplattans kant kommer vattenvirvlar sedan att uppstå som ”äter sig in” under bottenplattan så att den undermineras och sätter sig. I sällsynta fall kan brostödet välta. Om brostödet sätter sig kan bron förflyttas i sidled. Det är relativt enkelt och snabbt åtgärdat om man upptäcker erosion under ett brostöd i tid. Normalt krävs bara att fylla igen hålet under bottenplattan. (Nordlander *et al.*, 2007)

I de fall där brostöden kan anläggas direkt på bergsbotten i ett vattendrag är risken för erosion mycket liten så att erosionsskydd inte behövs. (Nordlander *et al.*, 2007)

I dag när man bygger nya broar försöker man göra överbyggnaden kontinuerlig över mellanstöden. Fördelen med detta är att bron inte havererar totalt om brostödet skulle röra sig. Äldre broar och enspannsbroar saknar den kontinuerliga egenskapen och risken finns att brospann faller ner om brostöden rör på sig. (Nordlander *et al.*, 2007)

Materialet har också betydelse då kontinuerliga broar byggs. Stålbalkar tål stödrörelser bättre än betongbalkar. Broar längre än 30 m är ofta byggda av förspända betongbalkar och är därför extra känsliga för sättningar. (Nordlander *et al.*, 2007)

Vägtrummor under vägar i naturmiljö är dimensionerade för ett flöde med 50 års återkomsttid medan trummor i urban miljö är anpassade till flöden med en återkomsttid på 10 år (Vägverket, 2002).

1.3 Ansvarsfördelning och reglerande lagar

För att få fungerande och säkra vägar måste många aktörer i samhället hjälpas åt att bidra med kunskap och ta ansvar inom sin speciella vetenskapsgren.

Vägverket som är en central förvaltningsmyndighet ansvar för att upprätthålla vägtransportsystemet. (Vägverket, 2008). Sedan 1990 ansvarar Vägverket för väghållningen på riksvägar och vissa primära landsvägar. (Castensson, 1992) Vägverket förvaltar de vägar som hålls av staten samt har tillsyn över kommunal väghållning. (SFS 1971:948) Vägverket har huvudansvaret för planering och projektering av vägar samt prövning av vägens tillåtlighet. (Michanek & Zetterberg, 2008)

I Sverige finns 290 kommuner. Varje kommun ansvarar för den lokala infrastrukturplaneringen, utveckling av trafiksystem samt övrig fysisk planering. (Rummukainen *et al.*, 2005a)

Sveriges 21 Länsstyrelser har ansvaret för den regionala utvecklingen i respektive län och ska samordna och beakta statens intresse vid fysisk planering. (Rummukainen *et al.*, 2005a)

Sveriges geologiska undersökning (SGU) är en central myndighet för geologi och mineralfrågor (jord, berg och grundvatten). De har bl.a. till uppgift att informera kommuner, länsstyrelsen och myndigheter för att underlätta vid miljöarbeten och vid fysisk planering. (Rummukainen *et al.*, 2005a)

Statens geotekniska institut (SGI) arbetar med mark och vattenfrågor i samband med planering, bebyggelse, forskning och markanvändning. (Rummukainen *et al.*, 2005a) De utreder också klimatförändringar och dess effekt på bl.a. släntstabilitet, erosion och översvämningar. (SGI, 2008-04-15)

Statens väg och transportforskningsinstitut (VTI) arbetar med trafik och transportanalys, vägkonstruktion, drift och underhåll inom hela transportsektorn. (Rummukainen *et al.*, 2005a)

Räddningsverket är en central förvaltningsmyndighet och har enligt räddningstjänstlagen ansvar för olycks- och skadeförebyggande åtgärder. De gör karteringar över stabilitetsförhållanden i bebyggda områden och översvämningsskartering över vissa vattendrag. Dessa karteringar kan sedan användas av kommuner och länsstyrelser som underlag vid fysisk planering. (Räddningsverket, 2000)

Boverket är en central förvaltningsmyndighet som har ansvar för byggd miljö och hushållning med mark och vattenområden, fysisk planering och hushållning med naturresurser, byggande och boende. (Boverket, 2008) De har i uppgift att förmedla kunskap om riskhänsyn vid fysisk planering. (Holgersson *et al.*, 2007)

De lagar som tillämpas vid bygge av allmänna vägar är Väglagen (SFS 1971:948), Miljöbalken (MB) samt Plan och byggnadslagen (PBL). (Michanek & Zetterberg, 2008) Med allmän väg avses vägar som hålls av stat eller kommun. (SFS 1971:948) Enskilda vägar regleras av Anläggningslagen (SFS 1973:1149) 46-55 §§ (Michanek & Zetterberg, 2008)

Staten är väghållare för alla allmänna vägar förutom i de fall där det beslutats att kommunen ska vara väghållare inom kommunen för att det skulle främja ”en god och rationell väghållning”. Då staten är väghållare är det Vägverkets regionala förvaltning som är väghållningsmyndighet. På kommunal nivå är det den kommunala nämnd som kommunfullmäktige bestämmer som är väghållningsmyndighet. (SFS 1971:948)

När en väg ska byggas genomförs först en process där vägbygget måste prövas och godkännas. Vägbygge innebär nybyggnation, omläggning av väg i ny sträckning samt ombyggnad av väg. I mångt och mycket har Vägverket monopol på vägbygget i landet men länsstyrelsen har inflytande då det gäller miljöanpassning av vägar. (Michanek & Zetterberg, 2008) Vägverket måste vid prövningen samråda med länsstyrelsen och i de fall de inte kommer överens övertar regeringen prövningen. (SFS 1971:948)

2 Framtida klimatscenario

FN:s klimatpanel Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) har gjort ett antal utsläppsscenario som visar hur klimatet kan komma att se ut fram till år 2100 beroende på hur mycket koldioxidutsläpp som görs fram till dess. I många av scenarierna fortsätter utsläppen att stiga, om än i olika takt. Alla scenario visar på en kraftigt förstärkt växthuseffekt. Det i sin tur medför en fortsatt ökning av jordens medeltemperatur. De olika scenarierna förutspår en ökning av medeltemperaturen på mellan 1,4 - 5,8 °C från 1990 till 2100. (Bernes, 2003) Det mest använda scenariot är A2 scenariot som också är den mest pessimistiska framtidsbild som IPCC presenterar. Bakgrundsdata till denna uppsats härstammar även den från klimatsimuleringar med A2 scenariot som grund.

Enligt Swedish Regional Climate Modelling Programme (SWECLIM) kommer temperaturökningen i Sverige bli lite högre än medeltemperaturhöjningen globalt sett fram till perioden 2071-2100. (Bernes, 2003) Temperaturökningen vintertid förväntas bli 2,8°C till 5,5°C och på sommaren 1,5°C till 3,3°C. Temperaturhöjningen väntas bli högre i de östra delarna av landet, särskilt längst med norrlandskusten vintertid. På sommaren ökar temperaturen mest i söder. (Rummukainen *et al.*, 2005b) Årsmedeltemperaturen kan komma att höjas från dagens 8 °C (i södra Sverige) till 12 °C. Man beräknar också att minimum temperaturen under året ökar med ca 8-12°C. (Bernes, 2003)

Temperaturen påverkar i sin tur snötäckets utbredning och varaktighet. Vintrarnas snöperioder kommer att bli kortare. Vid år 2100 är det troligt att nästintill helt snöfria förhållanden kommer att råda i Götaland och i stora delar av Svealand. (Bernes, 2003) Den enda ökningen som visas är att snömängden kan stiga med 5-10 procent vintertid i nordligaste Norrland. (Nordlander *et al.*, 2007)

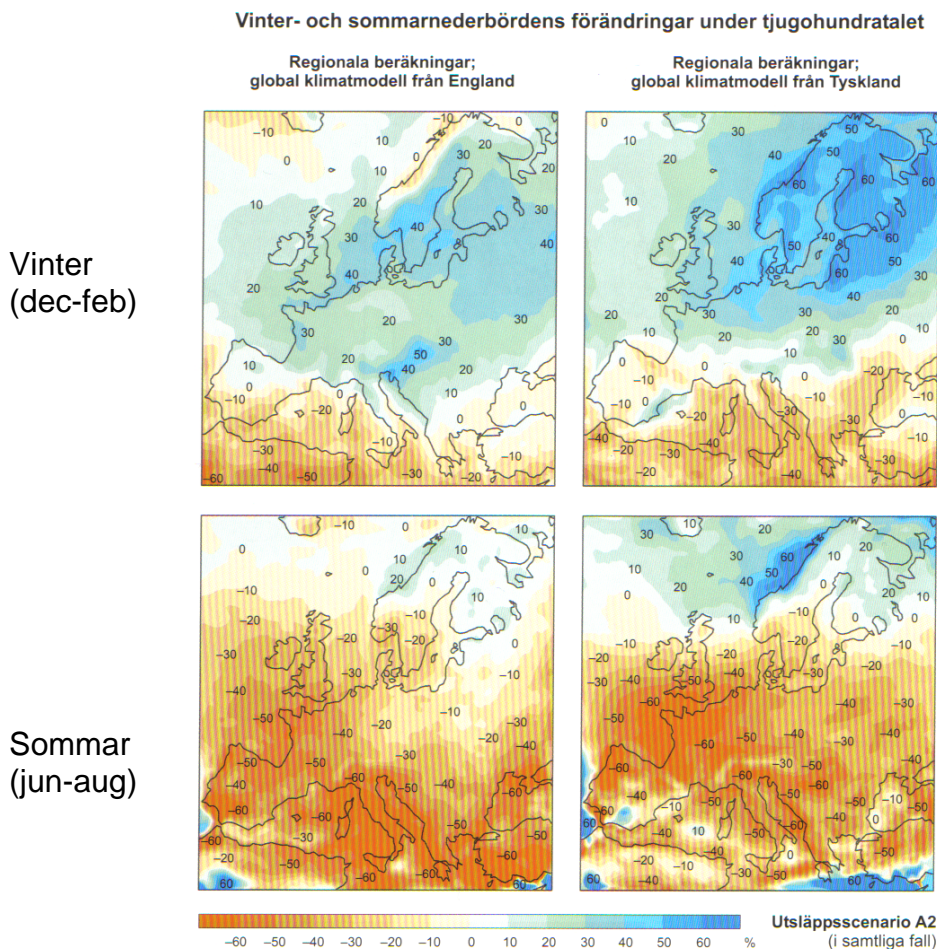
Temperatur och snötäcke bestämmer hur mycket och ofta marktjäle uppstår. Ju mindre snö som faller, som kan isolera marken från kallluft, desto mer kommer marken att frysa. Det gäller dock inte vägar eftersom de redan idag oftast är snöfria tack vare plogning. För vägarna blir det alltså ingen skillnad vad gäller snöns isolering och marktjälen kommer därför att minska istället eftersom temperaturerna inte kommer vara lika låga som nu. (Bernes, 2003)

Antalet frostdagar under året kommer att minska i hela landet. Dock kommer antalet nollpunktpassager på vintern att stiga i norra och mellersta Sverige vintertid men minskar i söder. På våren och hösten däremot minskar antalet nollpunktpassager i hela landet. Det innebär att säsongen då vinterväglag kan råda blir kortare och under vintern flyttas problemen norrut jämfört med idag. (Nordlander *et al.*, 2007)

Nederbörden förväntas öka i Sverige under tjugohundratalet. Den största ökningen väntas vintertid då ökningen kan bli 30 - 50 procent. Sommartid kommer nederbörden att minska med upp till 20 procent, förutom i norra Sverige där det även på sommaren kan finnas en viss nederbördsökning. (Bernes, 2003).

Den ökade nederbörds mängden kommer främst orsakas av att antalet kraftiga, intensiva och kortvariga regn eller snöfall ökar. Det behöver alltså inte innebära att antalet regn- eller snödagar blir fler. (Bernes, 2003) Till intensiva nederbördsdagar

räknas de dagar med mer än 25 mm nederbörd. (Nordlander *et al.*, 2007) Figur 1 visar två av SWECLIM: s simuleringar av hur nederbörden kan bli på sommaren respektive vintern i Europa år 2100. Nederbörden ökar i hela landet vintertid och minskar i södra och mellersta Sverige på sommaren. I norr väntas nederbörden bli oförändrad eller öka måttligt. Figuren visar två fall, global klimatmodell från England respektive Tyskland. Skillnaden mellan dessa modeller är framförallt att den tyska modellen förutsätter en kraftig ökning av västliga vindar från Nordatlanten vilket kan förklara skillnaden mellan simuleringarna. Man kan säga att den tyska modellen i kombination med A2 utsläppsscenario är den mest pessimistiska framtidsmodellen. (Bernes, 2003)

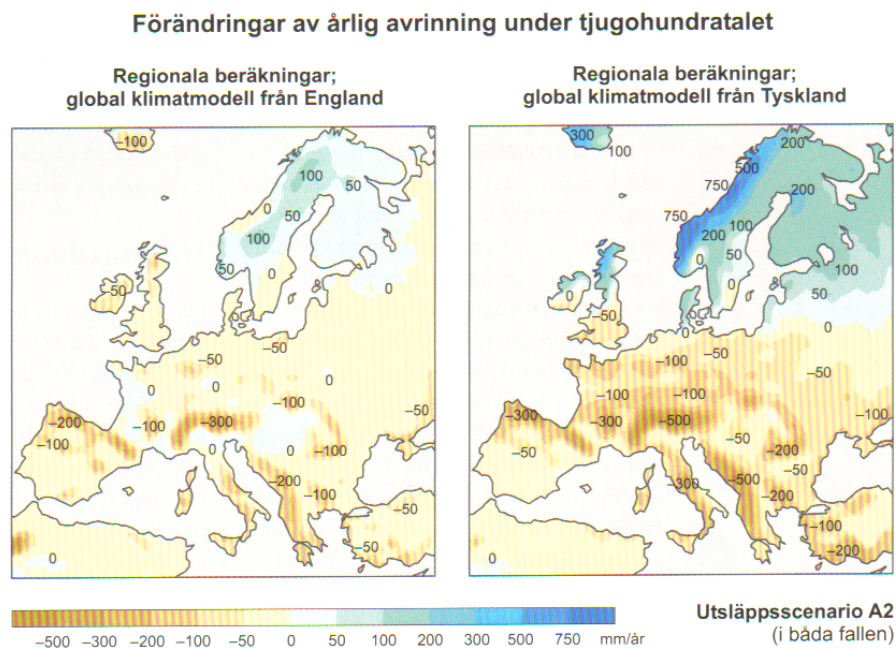


Figur 1. Vinter- och sommarnederbördens förändringar under tjugohundralet. Här framgår i de två vinterbilderna att nederbörden förväntas öka i hela landet. De två klimatmodellerna skiljer sig däremot åt vad gäller hur stor ökningen blir. Sommarbilderna visar på minskad nederbörd i södra och mellersta delarna av Sverige och ett oförändrat läge eller en liten nederbördsökning i norr. Även på sommaren finns skillnaden mellan klimatmodellerna om än inte lika påtaglig som under vintern (Omarbetad från SWECLIM, 2002)

Avrinning och markfuktighet avgörs av nederbörd minus avdunstning. Det innebär att det på en del håll kan förekomma sommartorka i marken i större utsträckning än nu. (Fallsvik *et al.*, 2007) Det gäller Götaland, östra Svealand samt sydligaste Norrland.

(Nordlander *et al.*, 2007) I norr kommer inte avdunstningen att väga upp för det omfattande regnet varken sommar- eller vintertid. Det får till följd att avrinningen och markfuktigheten blir hög framförallt i norra delarna av landet, se figur 2 (Fallsvik *et al.*, 2007).

Det är svårt att förutse hur flödet i de norrländska vattendragen kommer att bli eftersom många av dessa är dammreglerade. Flödet i dessa beror även i framtiden på hur regleringen utförs. (Nordlander *et al.*, 2007)

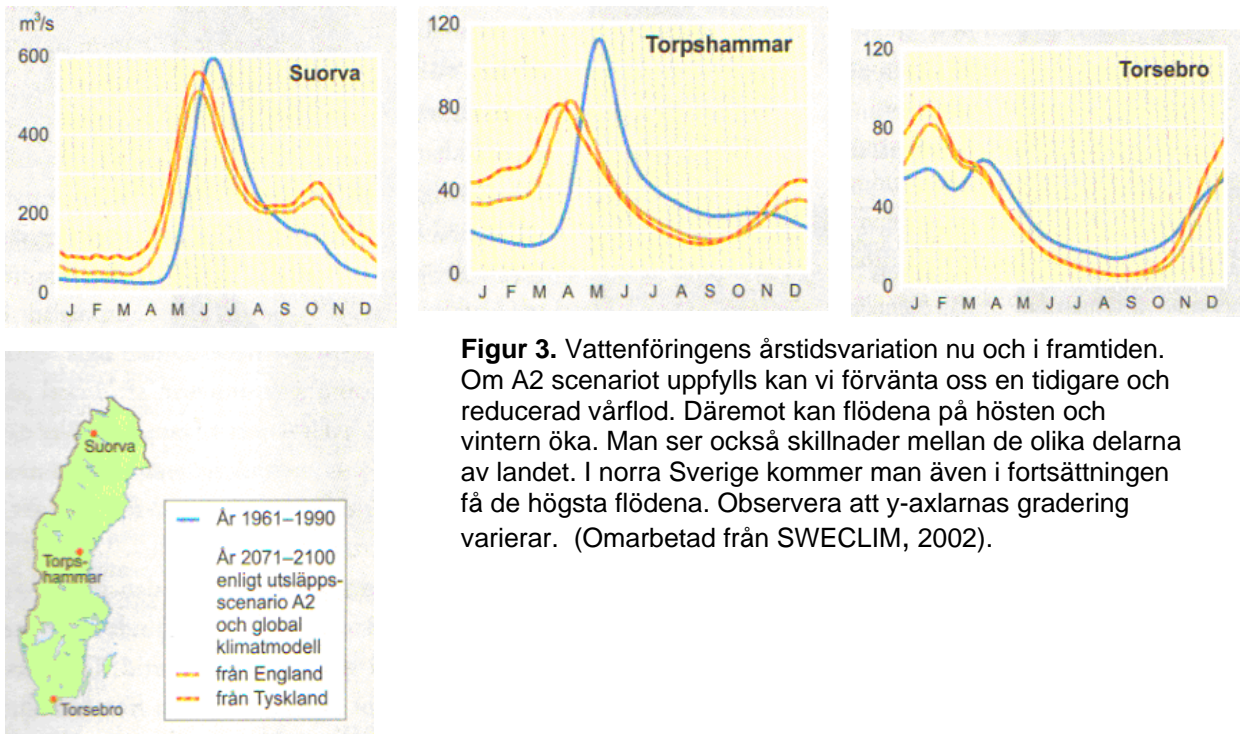


Figur 2. Förändring av årlig avrinning under tjugohundratalet. Här framgår att avrinningen kommer att öka. Främst kommer den att vara stor i Norrland. De båda klimatmodellerna visar en ökad avrinning, dock med olika magnitud. (Omarbetad från SWECLIM, 2002.)

Extremvärden av avrinning förväntas framförallt öka i västra Götaland och Svealand. (Nordlander *et al.*, 2007) I den södra delen av landet kommer medelavrinningen att minska eller vara oförändrad. Trots det kan avrinningen öka temporärt eftersom frekvensen av mycket intensiva regn kommer öka. (Fallsvik *et al.*, 2007)

Man kan också räkna med att avrinningens årstidsvariation förändras, se figur 3. Vårfloder som idag är de kraftigaste under året kan reduceras och uppträda tidigare under säsongen. Det beror på att snö smälter tidigare p.g.a. att det blir varmare tidigare och på framtidens tunnare snötäcke. Däremot kan man vänta sig kraftigare flöden under höst och vinter eftersom det är då nederbörden förväntas stiga som mest. Dessutom förväntas mer falla i form av regn istället för snö. (Bernes, 2003). Detta i kombination med att stigande temperaturer ger minskad marktäjle och att avdunstningen är relativt låg ger en omedelbar avrinning och grundvattenbildning (Nordlander *et al.*, 2007; Bernes, 2003).

Vattenföringens årstidsvariationer nu och i framtiden



Generellt är det så att det mest intensiva regnet ger en större mängd vatten till avrinningen än vad den mest intensiva snösmältningen gör under ett dygn. Däremot kan snösmältningen avge mer vatten under en längre period eftersom snösmältningen kan vara mycket intensiv under flera dagar. (Raab & Vedin, 2004)

Hur stor avrinningen blir beror inte bara på nederbörden utan också på hur markanvändningen är. Om marken är kal, vegetationslös eller har tunt jordlager är förutsättningarna för att avrinningen blir stor större. (Nordlander *et al.*, 2007)

Det är svårt att förutse hur mycket havsvattennivån kommer att stiga fram till år 2100 men man uppskattar att den genomsnittliga ökningen blir 40 cm världen över. I Sverige skulle det innebära att landhöjningen i höjd med Stockholm skulle vara i balans med höjningen av vattennivån. Längs Högakusten är landhöjningen ungefär 90 cm på 100 år vilket innebär att vattennivåhöjningen inte hotar kusten. Kustlinjen söder om Stockholm däremot skulle allt mer komma att täckas av vatten eftersom det där dessutom är fråga en om landsänkning. (Bernes, 2003)

Det finns ingen entydig framtidsprognos för hur vindarna kommer påverkas av klimatförändringarna. Temperaturen förväntas stiga mest i norr, vilket medför en temperaturutjämning mellan Arktis och sydligare delar av jordklotet. Eftersom vindarna skapas p.g.a. temperaturskillnader/tryckgradientkillnader mellan olika områden finns det anledning att tro att vindarna kommer att avta. (Bernes, 2003)

En faktor som dock talar för ökade vindar i Sverige är att lokala uppvärmningar kan påverka vindklimatet. En del av SWECLIM:s vindsimuleringar visar att den genomsnittliga vindhastigheten kommer att öka med 20 procent i Bottniska viken. (Bernes C., 2003) Om vindens medelhastighet ökar kommer också vindens

maxhastighet att öka (Rummukainen *et al.*, 2005b). Den tyska klimatmodellen visar på mer ökade vindar än den engelska. En förskjutning av NAO som innebär mildare vintrar i norra Europa skulle också föra med sig en ökad stormfrekvens. Det finns flera klimatmodeller som tyder på ett ökat antal djupa lågtryck, d.v.s. kraftiga vindar, och ett minskat antal svaga lågtryck. Förklaringen till det skulle vara att när avdunstningen ökar blir energiutbytet mellan jordytan och atmosfären större vilket ger djupare lågtryck. (Bernes, 2003)

Klimatet ändras och medelvärdena för de olika klimatfaktorerna ökar. Detta är givetvis oroande. En följd av detta är också att frekvensen och magnituden av extrema väderhändelser ökar. Det är ofta när nederbörd, vind och höga/låga temperaturer o.s.v. når upp till extremt höga värden som samhället är som mest sårbart. Extremväder befaras öka i takt med temperaturökningen. (Rummukainen *et al.*, 2005b)

Det är uppenbart att anpassningar till det förändrade klimatet måste göras. I de klimatscenarion som presenteras här visas hur det kan se ut om 70 till 100 år. Man får dock inte glömma bort att förändringen sker successivt. Man måste ta hänsyn till det klimat som kan bli verklighet under vägens förväntade livstid, både då det gäller nybyggnation och upprustning av befintliga anläggningar. (Rummukainen *et al.*, 2005b)

3 Sluttningsprocesser

Sluttningsprocesser är terrängformande processer orsakade av rörelse hos material. (Ne 2008-05-30a) Exempel på sådana massrörelser är skred och ras. Instabilitet i sluttningar ger i vissa fall upphov till ras och skred. Hur stor risken är för skred eller ras i en viss sluttning beror på jordens egenskaper och sammansättning, topografin, vattenhalten i jorden och/eller om det förekommer någon utlösande faktor för ett skred eller ras. (Vägverket, 2002).

Släntens stabilitet bestäms av skjuvspänningen på jordpartiklarna och skjuvhållfastheten mellan jordpartiklarna. Skjuvspänning är parallell med slänten och är den kraft som kämpar för att jordpartiklarna ska förflyttas neråt längst med sluttningen. Ju brantare sluttning desto starkare är skjuvspänning. Skjuvhållfastheten avgör hur stabil sluttningen är. Normalkraften (d.v.s. den kraft som är riktad in i marken, vinkelrätt mot skjuvspänningen) samt kohesionstyp mellan jordpartiklarna avgör skjuvhållfastheten. (Summerfield, 1991)

Mellan jordpartiklarna i marken, ovanför grundvattennivån, finns hålrum som kan vara fyllda med luft, vatten eller både och. Är marken helt torr så finns bara luft i hålrummen, då är porvattentrycket noll d.v.s. samma som ovanför marken (atmosfärstrycket). När hålrummen fylls med vatten så blir porvattentrycket positivt och får en lyftande effekt på jordpartiklarna. Ett ökat porvattentryck innebär på så sätt en motriktad kraft till normalkraften och skjuvhållfastheten blir sämre. (Summerfield, 1991)

Porvattentryck och kohesion mellan jordpartiklarna kan variera snabbt i både tid och rum och på så sätt ändra släntens benägenhet till ras eller skred. (Summerfield, 1991)

När markanvändningen ändras vid sidan av vägen så kan risken för skred i vissa fall öka. Exempelvis kan vegetation motverka skred eftersom rotsystemen hjälper till att binda jorden. Om vegetationen avverkas eller bränns ner kan skred lättare uppstå. (Vägverket, 2002)

Skredrisken ökar även p.g.a. mänsklig påverkan då t.ex. en vägbank tynger en slänt. (Fallsvik *et al.*, 2007)

4 Resultat

Genom att se hur vägarna skadas i dagens klimat och vid dagen extremväder kan man förutspå hur de kommer att reagera på de framtida klimatförändringarna. I tabell 1 finns en sammanställning över hur olika väganläggningar kan skadas p.g.a. att de exponeras i väder. I de följande avsnitten presenteras närmare hur olika klimatfaktorer påverkar vägarna.

Tabell 1 Anläggningstyper och delar samt dess potentiella skador p.g.a. klimatet.
(Omarbetad från Nordlander *et al.*, 2007)

Anläggningstyp/anläggningsdel	Klimatberoende konsekvens
Väg	Skred, ras och erosion, översvämning, snöhinder och ishalka
Vägöverbyggnad	Deformation och sprickor (bärighetsförlust)
Vägtrumma	Dämning, erosion och bortspolning av väg
Bro	Temperaturalstrade spänningar
Stora broar	Vindalstrade svängningar och vindlast på bro
Häng- och snedkabelbroar	Vindalstrade vibrationer
Betongbro	Försämrad beständighet
Träbro	Försämrad beständighet
Lågt liggande bro	Dämning, erosion och bortspolning av väg
Broöverbyggnad	Dämning och förskjutning av broöverbyggnad
Brostöd	Erosion
Tunnelpåslag	Översvämning i tunnel, upplyftning av tunnelkonstruktion

4.1 Ökad nederbörd och höga flöden

Vägverket har gjort en inventering av de mest frekventa vägskador som orsakats av vatten. Mellan 1995 och 2002 observerades 200 vägskador orsakade av nederbörd och höga flöden. Av dessa var 50 procent bortspolade vägar, 25 procent översvämmade vägar, 20 procent ras och skred samt 5 procent underspolade brostöd. (Vägverket, 2002)

Nederbörd påverkar väganläggningar genom bl.a. grundvattenbildning och avrinning från regn eller snösmältning. (Vägverket, 2002) Ökad grundvattennivå ökar risken för deformation samtidigt som det krävs mer underhåll av diken och andra avvattningssystem för att klara av de vattenmängder som förväntas. (Nordlander *et al.*, 2007) Se tabell 2 och 3.

Lokala och intensiva regn påverkar flöden i mindre vattendrag eftersom dessa vattendrag har små avrinningsområden. Det kan orsaka översvämning, bortspolning av väg, erosion och dämning vid vägdiken, mindre rörbroar och vägtrummor (små broar har spännvidd <10 m.). Det är ett vanligt problem som dessutom har ökat de senaste åren. I hela landet förväntas dessutom översvämningar av vägunderfarter öka vid små vattendrag i och med att klimatet förändras. I södra och västra Götaland väntas översvämningar av vägar och vägunderfarter vid lågt liggande vägar att öka även vid medelstora och stora vattendrag. (Nordlander *et al.*, 2007)

Normalt krävs det extrem lokal tillrinning till större vattendrag för att skada vägkonstruktioner intill dessa. Man väntar dock en ökning av sådana skador, framförallt där skadefrekvensen redan idag är stor. Risken är stor i västra Götaland och Värmland upp till mellersta Norrland. (Nordlander *et al.*, 2007)

Det är också vanligt att vägar intill mossmarker översvämmas efter intensiv och långvarig nederbörd. (Nordlander *et al.*, 2007)

Höga vattenflöden kan även orsaka bortspolade vägar. Det innebär att hela eller delar av vägen skadas p.g.a. erosion av det flödande vattnet. Detta är vanligt vid korsande vägtrummor och på vägar parallella med vattendrag eller diken eftersom vägkonstruktionen där hela tiden utsätts för rinnande vatten. Vid korsade vägtrummor som sätts igen kan vattnet däckas och hela vägbanken spolats bort eftersom de ofta inte är dimensionerade för att klara sådan påfrestning. (Nordlander *et al.*, 2007)

När undersidan på broöverbyggnaden ligger nära vattenytan så att den dämmer vattendraget vid höga vattennivåer kan vägbanken spolats bort. Om det är en större bro kan hela broöverbyggnaden förskjutas i sidled av den kraft som det flödande vattnet alstrar på överbyggnadens sida. Hur väl bron klarar en sådan belastning beror till stor del på brons konstruktion och tyngd. För att förebygga att sådana situationer uppkommer finns bestämmelser för fri höjd mellan brons undersida och vattenytan. (Nordlander *et al.*, 2007)

Merparten av de små broarna som byggs idag är rörbroar. Förr använde man istället plattrambroar. Båda dessa bromodeller är robusta och det är vanligt att vägbanken spolats bort vid höga flöden. Eftersom att vattenflödet blir extra stort vid in och utloppet från bron (eftersom vattendragets bredd förändras) blir belastningen där stor på erosionsskydden. Om erosionsskydden skadas väsentligt kan vägbanken spolats bort och på samma gång flytta bron ur sitt läge. (Nordlander *et al.*, 2007)

En annan typisk skada på broar, orsakad av höga flöden, är att plattgrundlagda brostöd undermineras av erosion. (Nordlander *et al.*, 2007)

Vägtrummor och broar måste byggas så att de kan släppa igenom vattnet även vid extrema flöden så att vägarna inte översvämmas. (Rummukainen *et al.*, 2005a)

Om vägbanken är hög och vägen spolats bort blir konsekvenserna extra stora. För vägbankar på 5-6 m vid vägtrummor och där risken för höga flöden är stor anses skaderisken redan idag vara oacceptabelt hög. (Nordlander *et al.*, 2007)

En ökning av skador på större broar som går över vattendrag förväntas öka väsentligt i västra Götaland, västra Vänernområdet. Däremot väntas en minskning i inre Götaland, norra Svealand och södra Norrland. (Nordlander *et al.*, 2007)

Det finns många gångträbroar i landet men också ett antal träbroar avsedda för biltrafik. I de delar av landet som får ett fuktigare klimat kan dessa träbroar få en kortare livslängd än beräknat p.g.a. att träet möglar eller ruttnar. Det motverkas och åtgärdas genom att välja andra material än trä eller genom att impregnera träet bättre. (Nordlander *et al.*, 2007)

Översvämningar är inte bara en fara i sig utan kan även föranleda ras och skred. När exempelvis en bäck översvämmas och vattenflödet ökar så eroderas jorden på bäckslutningarna. Då kan hållfastheten i slutningen ner mot bäcken bli ostabil och jordmaterial rasa ner i bäcken. När marken blir vattenmättad, i slänten ner mot bäcken, och vattennivån i bäcken är högre än normalt så fungerar vattnet som en mothållande kraft mot att jorden rasar ner. Vattennivån i bäcken sjunker oftast fortare än vad portrycket i marken gör. Därför utlöses många skred först när översvämningen är över och vattnet sjunkit undan och vattnets mothållande kraft inte längre existerar (Räddningsverket, 2000). Samma situation kan uppstå p.g.a. att mycket regn faller under vintern då avdunstningen är låg och vattnet lätt infiltrerar den ej frysta marken. Risken för skred blir då stor när sommaren kommer och vattenståndet i marken snabbt förändras och samtidigt försämrar stabiliteten i marken. (Rummukainen *et al.*, 2005b)

I samband med Vägverkets inventering av vägskador som inträffat mellan 1995 och 2002 konstaterade de att ”betydande delar av vägnätet har ur stabilitetssynpunkt inte dimensionerats för förhöjda portryck som uppstår efter långvarigt regn” och att ”skredrisken efter långvarigt regn är oacceptabelt hög...” (Vägverket, 2002). Det står också klart att skredsäkerheten kommer försämrats ytterligare i och med klimatförändringarna. De områden där risken befaras bli som störst är västra Götaland, västra Svealand, vid mellersta och norra Norrlandskusten. Allra störst är risken för vägarna längs med vattendrag i Götaälvdalen, Bohuslän och en del av Vänerns tillflöde. (Nordlander *et al.*, 2007)

På grund av att nederbördsmängden ökar kan vägbyggnadsarbetet i form av belägnings- och schaktningsarbeten försvåras. (Nordlander *et al.*, 2007)

Statens geotekniska institut har gjort en ”Översiktlig bedömning av jordrörelser vid förändrat klimat”. I utredningen studerades hur ett förändrat klimat kan komma att påverka jordrörelser i form av erosion, skred och ras, raviner samt moränkskred och slamströmmar fram till perioden 2071-2100. De använde den tyska klimatmodellen och utsläppsscenario A2 (ECHAM/A2) som bakgrund vid bedömningen. De sammanvägde sedan dessa kartor med underlagskartor innehållande relevant information om jordartförhållanden, topografi o.s.v. (Fallsvik *et al.*, 2007)

Simuleringen av förändringen av erosionsrisken på olika platser i landet fram till perioden 2071-2100 p.g.a. klimatförändringen utfördes med hjälp av en underlagskarta med information om erosionskänsliga områden i Sverige. De faktorer som mest påverkar erosion är höga flöden och intensiva regn. Kartor som anger förändring i 100-årsflödet respektive förändring av intensiva regn användes därför i sammanvägningen med underlagskartan. Resultatkartan visas av figur 4. Man kan se

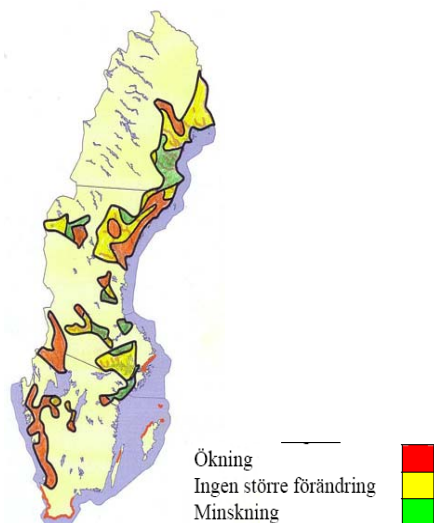
att det framförallt längs västkusten finns risk för ökad erosion samt en längre sträcka längst norra ostkusten. (Fallsvik *et al.*, 2007)

En liknande simulering gjordes av förändrad benägenhet för skred och ras. Som underlag användes en generaliserad karta över frekventa skred och ras i ler- och siltjordar i Sverige. Utlösande faktorer till skred och ras är ökat porvattentryck, som bl.a. bestäms av avrinningen, och erosion. Därför har man kombinerat underlagskartan med resultatkartan från erosionriskförändringen (figur 4) med en karta med förändringen av avrinningen p.g.a. klimatförändringen fram till 2071-2100. Resultatet visas i figur 5. Risken för skred och ras förväntas öka på många håll i landet, i stort sett överallt där det redan idag finns skredbenägen ler- och siltjord. (Fallsvik *et al.*, 2007)

För ravinutvecklingen har man som grund använt en karta med ravinbenägna platser där jorden består av silt eller en blandning av ler, silt och sand. De klimatkriterier som framkallar raviner är höga flöden och intensiva regn. Därför används underlagskartan i kombination med kartor över förändring i 100-årsflödet respektive förändringen av intensiva regn fram till perioden 2071-2100. Resultatkartan visas i figur 6. Det är framförallt områden vid västkusten samt norrlandskusten som kommer att få ökad risk för ravinbildning. (Fallsvik *et al.*, 2007)

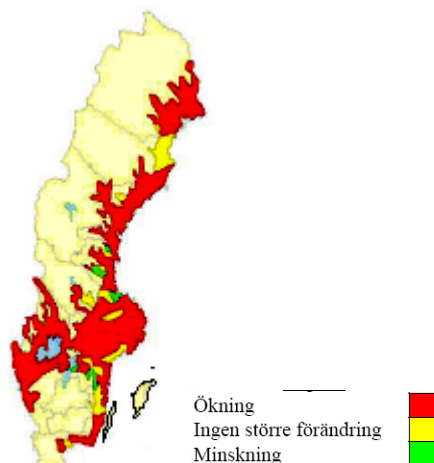
Moränskred och slamströmmar utlöses av hög och varaktig nederbörd sommartid och intensiva regn. Det krävs också branta topografiska förhållanden. För simuleringen användes därför en karta med topografiska förutsättningar för moränskred och slamströmmar samt ravinutveckling i moränslänter som underlag. Sammanvägt med denna användes en karta med förändring av intensiva regn samt en karta med nederbördsförändringen under sommaren. Här fick förändringen av intensiva regn väga tre gånger så tungt vid simuleringen eftersom det anses vara mest avgörande. Fjällområdet samt stora delar av Svealand och i Jönköpingstrakten ökar risken för moränskred och slamströmmar samt ravinutveckling i moränslänter, till stor del beroende på där rådande topografiska förhållanden, se figur 7. (Fallsvik *et al.*, 2007)

Förändring av benägenhet för erosion p.g.a. klimatförändringen fram till perioden 2071-2100



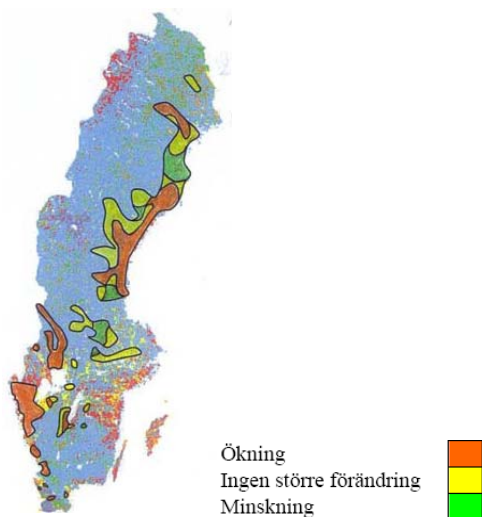
Figur 4. Förändring av erosionsbenägenheten p.g.a. förändringar i 100-årsflödet och intensiva regn i ett framtida klimat. (Omarbetad från Fallsvik *et al.*, 2007)

Förändring av benägenhet för skred och ras p.g.a. klimatförändringen fram till perioden 2071-2100



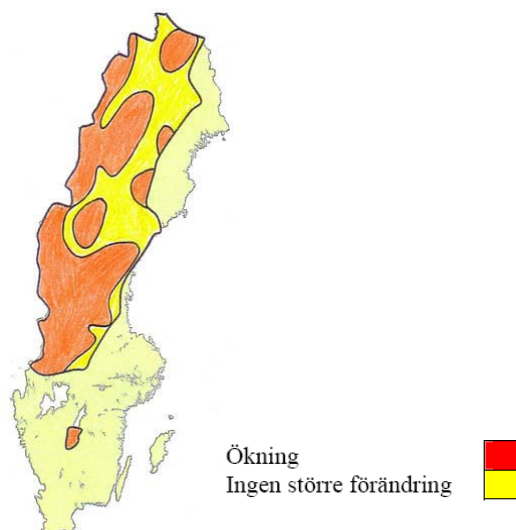
Figur 5. Förändring av ras- och skredrisken p.g.a. förändringar i avrinning och erosionsbenägenhet i ett framtida klimat. (Omarbetad från Fallsvik *et al.*, 2007)

Förändring av benägenhet för ravinutveckling p.g.a. klimatförändringen fram till perioden 2071-2100



Figur 6. Förändring av benägenheten för ravinutveckling p.g.a. förändringar i avrinning och erosionsbenägenhet i ett framtida klimat. (Omarbetad från Fallsvik *et al.*, 2007)

Förändring av benägenhet för moränskred och slamströmmar samt ravinutveckling i moränslänter p.g.a. klimatförändringen fram till perioden 2071-2100



Figur 7. Förändring av benägenheten för moränskred och slamströmmar samt ravinutveckling i moränslänter p.g.a. förändringar i avrinning och erosionsbenägenhet i ett framtida klimat. (Omarbetad från Fallsvik *et al.*, 2007)

Resultatkartorna (figur 4 -7) är översiktlig och gränsdragningarna ungefärliga, det får man tänka på t.ex. då ett grönt område gränsar direkt till ett rött område. Likaså måste man räkna med att det kan finnas mindre områden som också är erosionskänsliga mellan de större områdena och som inte är utmärkta på kartan. (Fallsvik *et al.*, 2007)

Inom problematiken med ökad intensiv nederbörd ligger även problem med intensivt snöfall i kombination med kraftig vind. Vid sådana tillfällen kan det bli snödrev vilket ofta innebär trafikproblem. Vinterväghållningen försvåras vid snödrev bl.a. eftersom effekten av plogningen inte blir långvarig. Det är framförallt i norra Sverige, Skåne och på de mellansvenska slättlandskapen som dessa problem finns. Även fast frekvensen av snöfall förväntas minska är det troligt att problematiken finns kvar eller ökar eftersom risken för intensiva, lokala och temporära snöfall ökar. (Jonas Åkerman, efter samtal).

4.2 Temperatur

Temperaturen stiger i hela landet. I söder kommer antalet nollpunktspassager att minska medan de kommer att öka i norra Sverige. Fler nollpunktspassager och mer regn innebär fler fryscykler och halktillfällen vilket medför ett ökat behov av vägsaltning samt ökad risk för frostsprängningar och vittring. (Nordlander *et al.*, 2007; Fallsvik *et al.*, 2007) Vägsalt och upprepade nerfrysningar skadar betongkonstruktioner vid väganläggningar t.ex. broar. Klorider ifrån saltet åter sig in i betongen och orsakar korrosion på armeringen. Detta gör att betongen åldras snabbare. Den betong som används idag och de senaste 20 åren är dock mindre känsliga för salt och frost, vilket innebär att det främst är äldre betongkonstruktioner som kommer drabbas av klimatförändringarna. Om skador på betongkonstruktionerna blir fler kommer det att uppmärksammas och åtgärdas i samband med ordinarie inspektioner och underhållsplanering. (Nordlander *et al.*, 2007)

Betongbroar påverkas även av temperaturväxlingar då betongen utvidgas vid uppvärmning och drar ihop sig vid avkylning. Ibland kan olika delar av bron värmas upp/kylas av olika mycket vilket gör att betongen blir extra spröd och styv. Problem med detta finns redan idag och förväntas fortsätta, dock är det inget växande problem eftersom intervallet mellan lägsta och högsta temperatur blir oförändrat. (Nordlander *et al.*, 2007)

I hela landet utom i norr blir vintrarna kortare och nollpunktspassager färre p.g.a. högre temperaturer vilket ger mindre tjäle i marken. Det bör leda till en minskning i dubbdäcksanvändandet totalt sett. På så sätt minskar slitaget på vägbanan. Om dubbdäcksanvändandet inte minskar ökar däremot slitaget eftersom dubbarna sliter på den bara och ej frysta asfalten. (Nordlander *et al.*, 2007)

Kortare tjälperioder innebär mindre tjällyftning vilket skonar vägarnas över- och underbyggnad mot deformation och tjälspäckor. I vissa fall används dock tjälen i marken som en resurs då den ökar bärigheten hos vissa vägar, dessa vägar missgynnas då tjälen uteblir. (Nordlander *et al.*, 2007) Ett exempel på vägar som skulle kunna missgynnas är de byggda på ställen i Norrland där det är permafrost. När denna smälter kan marken kollapsa och så kallad thermokarst uppstår. Lika så kan massrörelser uppstå om det aktiva lagret ökar och permafrosten släpper i en sluttning. (IPCC, 2007) Detta kan få allvarliga konsekvenser för vägar byggda i sådana områden.

Extremt höga temperaturer påverkar vägarna och kommer leda till deformation och spårbildning på beläggningen. Detta kan till viss del motverkas genom att använda styvare bindningsmedel i asfalten som beläggs vägarna. (Nordlander *et al.*, 2007; Rummukainen *et al.*, 2005a)

I tabell 2-3 visas sammanfattat de förväntade åtgärder som kommer krävas för återställning av spårbildning respektive ojämnheter i vägarna som följd av framtidens nederbörd och temperatur.

Tabell 2 De förväntade behoven av åtgärder p.g.a. spårbildning (omarbetad från Nordlander *et al.*, 2007)

Spår	Orsak	Riktning som följd av klimatförändring
Slitage	Dubbanvändning, barmarksväg, fuktig vägbana, vinterns längd	Minskning
Deformation beläggning	Extrem värme, medeltemperatur	Ökning
Deformation överbyggnad	Medeltemperatur, vatten	Liten ökning
Deformation underbyggnad	Vatten i terrass, tjäle	Liten ökning i S, liten minskning i N
Sprickor (lastberoende)	Temperatur	Liten minskning

Tabell 3 Åtgärder p.g.a. ojämnheter (omarbetad från Nordlander *et al.*, 2007)

Ojämnheter	Orsak	Riktning som följd av klimatförändring
Tjäle	Vinterns längd, grundvattentillgång	Minskning
Deformation beläggning	Tjäle, regn, lokal fukt + last	Liten minskning
Deformation överbyggnad	Tjäle	Liten minskning
Sättning	Grundvattenyta	Ingen ändring
Sprickor		Minskning

Vägverket har gjort en uppskattning av hur stora åtgärdskostnaderna kommer att bli och räknar med att de totalt kommer att minska med 10 procent i landet. Men uppskattningen är så osäker att det inte är lönt att dra några slutsatser eller att ha någon större tilltro till beräkningen. Däremot kan man konstatera att det kommer bli en förskjutning av vägskador från tjälerelaterade till värme- och vattenrelaterade skador. (Nordlander *et al.*, 2007)

4.3 Havsnivå

På de platser där landhöjningen inte kompenserar havsvattennivåhöjningen, d.v.s. södra Sverige, kan man förvänta sig problem med vattenfyllda undervattenstunnlar och tunnlar vid lågt liggande vägar. Problemet finns redan idag, framför allt i Göteborgsområdet. Risken stiger i kombination med vind- och lufttrycksförändringar. Vägar i riskzonen är Tingstadstunneln, Götatunneln och väg E6 vid Ljungskile. (Nordlander *et al.*, 2007)

4.4 Vind

Hårda vindar kan ställa till det för de fåtal hängbroar och snedkabelbroar vi har i Sverige. När dessa sätts i svängning under hårda vindar måste de stängas av. Det är dock inte uteslutande hårda vindar som sätter dessa broar i rörelse. Vibrationer i hängstag och kablar som alstras av vind uppstår vid vissa speciella vindstyrkor. Vibrationerna kan även förstärkas av samtidig nederbörd. Upprepade vibrationer medför en utmattning av materialet i hängstagen och kablarna. Uddevallabron, Tjörnbron och Högakustenbron är dimensionerad så att de ska klara en mindre ökning av vindhastigheten. Däremot pågår en utredning av Älvsborgsbron där man har kommit fram till att bronns bärighet inte i dagsläget har marginaler för att klara av ökad belastning av vare sig förhöjd vindhastighet eller trafiktryck. Dessutom har Älvsborgsbron redan idag problem med hållfastheten p.g.a. utmattning från vind och trafiklast. (Nordlander *et al.*, 2007)

Broar dimensioneras för att klara sidvindar som har en stjälpande effekt. Så länge inte vindstyrkorna ökar så hotas inte broarna. Om vindstyrkorna däremot ökar, så att de överskrider den förväntade högsta vindhastigheten under en viss återkomsttid, kommer inte broarna längre klara av de stabilitetskrav som finns. Skador som kan uppstå p.g.a. ökade vindar är att bron börjar luta, stälper eller att broöverbyggnaden glider i sidled på stöden. (Nordlander *et al.*, 2007)

Höga broar med stora spännvidder är mer känsliga för vind än låga broar. Höga broar har sin överbyggnad långt ifrån grundläggningen vilket gör att de är mer sårbara för höga vindhastigheter. (Nordlander *et al.*, 2007)

Sedan 1989 dimensioneras små och medelstora broar med avseende på vind efter bronns höjd. Broar upp till 10 meter dimensioneras för att klara ett tryck på 1,8 kPa och broar högre än 30 meter 2,6 kPa. För broar med höjd däremellan interpoleras ett värde fram. För större broar bestäms vindlasten i det enskilda fallet. Dessa dimensioneringar är väl tilltagna och förväntas klara en vindökning från dagens normala vindhastigheter med 10 procent. (Nordlander *et al.*, 2007)

Vägverket uppskattar att det endast är 10-20 broar i Sverige som kommer få problem vid högre vindhastigheter. (Nordlander *et al.*, 2007)

Vindar längs kusten påverkar våg- och strömbildning samt har en eroderande kraft i sig själv. Om vindarnas frekvens och hastighet ökar blir erosionen större. (Rankka & Rydell, 2005) Därför hotas inte vägar nära kustlinjen bara av översvämning utan även av att bli underminerade p.g.a. erosion.

Kraftiga vindar i kombination med intensivt snöfall kan ge snödrev, se kapitel 4.1.

4.5 Översvämmade sjöar

I denna uppsats läggs det ingen vikt på det faktum att problem med översvämmade vägar runt större sjöar kommer att öka i framtiden. Här nämns endast mycket kortfattat hur situationen kan komma att se ut.

Redan idag finns stora problem med det höga vattenståndet och flöden runt Vänern, Mälaren, Hjälmaran och längs Göta älv. Dessa problem försvåras vid Vänern och längs Göta älv. Även vid Mälaren och Hjälmaran kan man vänta sig att det blir

vanligare med höga flöden även om tillfällena med extremt högt vattenstånd inte ökar. (Bergström *et al.*, 2006)

5 Åtgärder

5.1 Förebyggande åtgärder på befintliga vägar

Vägtrummor är ett problemområde där dimensionering, underhåll och tillsyn i stor utsträckning kan förbättras med relativt enkla medel. (Vägverket, 2002)

Förslag på förbättring av vägtrummor är att montera galler eller nät i fångdammar uppströms från vägtrumorna för att fånga upp material som annars kan sätta igen trumman. Fler förslag är att trumman byts ut mot en med större dimension eller kompletteras med fler trummor. Samtidigt måste fångdamarna och trummorna rensas på rutin med jämna mellanrum. Det kan också vara lämpligt att anlägga mindre vägar eller förbättra alternativa vägar för att lätt komma åt att rensa i akutsituationer eller för att underlätta vägomledningen efter inträffad skada. Det är också bra att förbereda för att pumpa bort vatten vid översvämning. Man kan också förstärka erosionsskydd och vägunderbyggnader så den bättre står emot flödesdämningar. (Nordlander *et al.*, 2007; Vägverket, 2002)

För att förebygga översvämningar som orsakats av dammar uppströms från en väg kan dammarna säkerhetskontrolleras och eventuellt byggas ut. (Vägverket, 2002) En annan idé är att bygga flödesutjämningsmagasin i vattendragen. (Räddningsverket, 2000)

För att minska olyckor och skador av bortspolade vägar där fallhöjden är hög är det viktigt att identifiera och åtgärda trummor under höga vägbankar. Kraven på vägtrummor och mindre rörbroar under höga vägbankar kommer att skärpas. (Nordlander *et al.*, 2007)

Vid förbättring på befintliga vägnät för att minska översvämningrisker avgörs höjdsättningen för vägen i varje enskilt fall. (Vägverket, 2002).

Åtgärder man kan genomföra för att minska skredrisknivån är att utföra grundförstärkningar och installera skredvarningssystem. Man kan förebygga att skred utlöses om man gör regelbundna kontroller eftersom skred ofta föregås av annan deformation och sprickor. (Nordlander *et al.*, 2007)

Man räknar med att man under den vanliga kontrollen och förvaltningen av broarna kommer att uppmärksamma om en bro är sårbar vid höga flöden. Eftersom klimatförändringarna sker successivt kommer dessa broar ofta hinna åtgärdas innan fara uppstår, dock måste kanske ombyggnaden ske tidigare än vad som från början var planerat. (Nordlander *et al.*, 2007)

Det kan bli aktuellt att tidigare än planerat byta ut eller bygga om ett stort antal av de broar som ligger <0,5 meter över vattenytan i de områden som förväntas drabbas hårdast av ökade flöden. En del broar i övriga delar av landet med en fri höjd över vattenytan på <0,3 meter kan också behöva bytas ut i förtid. (Holgersson *et al.*, 2007)

För att förebygga skadliga vibrationer på häng- och snedkabelbroar kan stagens egenfrekvens ändras genom en mindre ombyggnation. (Nordlander *et al.*, 2007)

Äldre vägar är ofta inte fullt ut dimensionerade med hänsyn till problem med ökade porvattentryck. Det innebär att dessa vägar inte har den skredsäkerhet som man idag kräver. Vägar där skredrisken är stor förbättras fortlöpande efter att man först ställt kostnaderna i relation till effekten av möjliga åtgärder. Det finns inga skrivna regler för hur hög skredsäkerheten på befintliga äldre vägar ska vara men man utgår alltid från de säkerhetsnivåer som idag krävs vid nybygge. (Nordlander *et al.*, 2007)

Med anledning av den ökade skadefrekvensen håller nya dimensioneringsbestämmelser för närvarande på att arbetas fram hos Vägverket. I dagsläget dimensioneras vägarna vid nybygge och förbättring efter historiska klimatlaster från 1961-1990. Det tar med andra ord ett tag innan regelverket för dimensionering förändras. Den gamla dimensioneringen verkar inte vara optimal, speciellt inte med hänsyn till dagens höga flöden. De nya dimensioneringskraven kommer att bli riskbaserade och ska klara av klimatafaktorer som prognostiseras bl.a. med hänsyn till höga flöden. Även konsekvenser vid eventuella skador kommer att beaktas vid dimensioneringen. (Nordlander *et al.*, 2007)

I Vägverkets handlingsplan för att minska vägnätets sårbarhet av höga flöden och vattenstånd finns två åtgärder som ska vidtas för befintliga vägar. Den första är att en inventering av vägarna ska göras för att urskilja de vägvassnitt där konsekvenserna blir som mest omfattande då skada uppstår (inventeringen pågår). Utgångspunkten för inventeringen är platser där sårbarheten för transportförsörjningen är som störst samt där skredrisken kan vara hög. Riskreducerande åtgärder prioriteras därefter för de identifierade vägsträckorna. Den andra åtgärden är att utforma en detaljerad plan för hur de förebyggande åtgärderna för respektive riskområde ska göras. Ingripandet kan vara såväl en fysisk åtgärd som en beredskapsplan. (Vägverket, 2002) Hela handlingsplanen finns i Bilaga 1.

5.2 Framtida vägbyggen

En grundläggande åtgärd man bör tänka på vid framtida vägbyggen är att man redan i den kommunala översiktsplanen markerar de områden som p.g.a. översvämnings-, ras- eller skredrisk inte bör anläggas med vägar eller annan bebyggelse. Om en väg ändå måste byggas inom riskområdet kan man uträtta förebyggande och förberedande åtgärder på platsen innan bygget. Likaså måste dimensioneringen av den nya vägen göras med hänsyn till de riskfaktorer som finns. (Räddningsverket, 2000).

En enkätundersökning angående hänsynstagande till översvämnings-, skred och ras i planeringsprocessen besvarades av ungefär hälften av Sveriges kommuner 2005/2006. Enligt den beaktats översvämningsrisker vid planering hos de flesta kommuner. Drygt hälften av dem uppgav att de beaktar risken för ras och skred vid planeringen. Det var dock bara en tredjedel som svarade att de planerat efter de risker som klimatförändringarna kan komma att innebära. (Holgerson *et al.*, 2007)

För att anpassa vägarna till framtidens klimat måste kommunerna även börja ta hänsyn till de ökade riskerna som det framtida klimatet kan frambringa i sin översikts- och detaljplanering samt vid planering av infrastruktur. (Holgerson *et al.*, 2007)

Vid dimensioneringen för nya vägar är det viktigt att beakta hur lång livslängd vägen och dess olika delar beräknas få, se tabell 4. Det bör finnas en klimatanalys för perioden då vägen ska brukas så att vägen kan anpassas även efter de kommande klimatfaktorerna. (Nordlander *et al.*, 2007)

Tabell 4. Normal teknisk livslängd på olika delar av investeringsprodukter. (Omarbetad från Vägverket, 2004)

Anläggningsdel	Minst (år)	Median (år)
Bro med spännvidd > 200 m eller längd >1000 m	120	150
Tunnel med längd >1000 m	120	150
Övriga broar och tunnlar	80	100
Vägunderbyggnad	80	100
Vägoöverbyggnad	40	50
Vägutrustning typ betongfundament och betongbarriärer	40	50
Vägbeläggning	20	25

Vid nybygge av vägar längst speciellt sårbara sträckor kan man minska skador genom att bestämma HHW och flöden enligt en längre återkomsttid, kräva högre fri höjd över vattnet samt välja bort vissa extra känsliga konstruktioner. (Nordlander *et al.*, 2007)

I bilaga 1 finns Vägverkets handlingsplan för att minska vägarnas sårbarhet för höga flöden och vattenstånd. Där framgår det bl.a. att man bör ta hänsyn till konsekvenser av höga flöden och vattenstånd vid dimensioneringsreglerna för vägar, broar och tunnlar. (Vägverket, 2002).

Det är sannolikt att andra nationer har tekniska lösningar som kan komma till användning i Sverige. Det är därför viktigt att kommunicera och hjälpas åt över nationsgränserna eftersom liknande problem även uppkommer på andra ställen i världen. Forskning och utveckling av metoder för att anpassa väginfrastrukturen till klimatförändringarna bör koordineras med våra grannländer eftersom de har liknande klimat som Sverige. (Nordlander *et al.*, 2007)

I allmänhet bör man anpassa dimensioneringen av nya vägar efter ett risktänkande. (Nordlander *et al.*, 2007) Man bör dimensionera efter 100-årsflödet istället för 50-årsflödet. (Rankka & Rydell, 2005) Man bör också göra mer detaljerade konsekvensanalyser. Dessutom bör noggrannheten öka vid både dimensioneringen och utförandekontrollerna. (Nordlander *et al.*, 2007)

Inom snar framtid kommer nybyggda broar dimensioneras enligt Europeiska koder. De är utformade för att klara vindtryck för en viss vindhastighet med 10 minuters varaktighet och 50 års återkomsttid vid 10 meters höjd. (Nordlander *et al.*, 2007)

Bättre samarbete måste etableras mellan statliga myndigheter, kommuner och länsstyrelser. Alla dessa olika instanser har information om förhållanden som berör naturolyckor. En ordentlig sammanställning av detta material skulle vara betydelsefullt och skulle underlätta informationsutbyte mellan myndigheterna. Likaså kan all behövlig information ibland finnas utspritt inom en och samma organisation så att den ändå är svårt att tillhandahålla. Ett förslag är att sammanställa det material som

finns och sedan göra det tillgängligt i digital form så att den kan integreras i GIS program (Geografiskt Informations System). På så sätt blir det lätt att hitta relevant information vid planering av nya anläggningar. (Rankka & Rydell, 2005)

5.3 Konsekvenser och kostnader för samhället

Det kommer att bli dyrt för samhället att utföra alla de förebyggande åtgärder som är nödvändiga för att begränsa skador. De totala kostnaderna på lång sikt för att förebygga skador uppskattas till ca 1-2 miljarder kronor. (Nordlander *et al.*, 2007)

Ännu dyrare blir merkostnaderna för reparationer av skadade vägar. Merkostnaderna väntas öka successivt i takt med klimatförändringarna. Den totala kostnaden från och med nu fram till 2100 beräknas bli mellan 9 och 13 miljarder kronor. (Nordlander *et al.*, 2007)

Det visar att förebyggande åtgärder är mycket lönsamt. Det billigaste alternativet att utföra förebyggande åtgärder på är att göra de nödvändiga ombyggnader, förstärkningar, utbyten o.s.v. i samband med ordinarie förvaltningsarbete istället för att göra dem isolerat. (Holgersson *et al.*, 2007; Nordlander *et al.*, 2007)

Kostnader efter en skada består av direkta kostnader för att återställa skadorna och indirekta kostnader för bl.a. trafikomledningen p.g.a. att vägen är så illa därän att den inte kan användas. Normalt är det återställningskostnaderna som dominerar. (Nordlander *et al.*, 2007)

Vägverket har gjort en uppskattning av kostnader för skador och skadeavhjälpande åtgärder. Det ska nämnas att en sådan uppskattning är svår att göra eftersom olika klimatscenarion visar olika framtidsrapporter. En annan anledning till att det är svårt att göra en kostnadsbedömning är att frekvensen för stora och omfattande skadehändelser är svårt att förutse eftersom de verkar inträffa slumpvis. I tabell 5 visas den grova kostnadsuppskattningen. Den bygger på en enkätundersökning Vägverket gjort och omfattar större skador men inte kostnaderna för normalt underhåll och återställning av mindre skador. Dock är inte kostnader från det stora skredet på väg E6 söder om Munkedal 2006 inräknat. Indirekta skador avser t.ex. störning av trafikförsörjning, vägomledning och personsador. (Nordlander *et al.*, 2007)

Tabell 5 Uppskattning av kostnader för skador och skadeavhjälpande åtgärder på statliga vägar (Holgersson *et al.*, 2007)

Skada	Skadekostnader 1994-2006, direkta konsekvenser	Indirekta kostnader 1994-2006	Ökning av kostnader p.g.a. skador på lång sikt
Erosion och översvämning	65 Mkr/år	5-15 % av tot.kostnaderna	50-150 Mkr/år
Skred och ras	15 Mkr/år	5-25 % av tot.kostnaderna	20-50 Mkr/år

När det gäller erosion och översvämningar är det ytterst ovanligt att en enda skada kostar mer än 10 miljoner kronor. För skred och ras är det ungefär en tredjedel av alla skador som ensamt når kostnader på mer än 10 miljoner kronor. (Nordlander *et al.*, 2007)

Skredet i Munkedal 2006 kostade 120 miljoner kronor inklusive kostnaderna för vägomledningen som utgjorde mer än 50 procent av beloppet. Anledningen till att den indirekta kostnaden i detta fall överskred den direkta kostnaden är att vägvastängningen blev långvarig. (Holgersson *et al.*, 2007) I figur 8 visas ett foto på fördelsen efter skredet i Munkedal i december 2006.

Förutom de vanligt förekommande skadehändelserna finns anledning att tro att större skred med kostnader över 100 miljoner kronor kommer att öka. (Nordlander *et al.*, 2007)

Vintrarna i Sverige kommer successivt att bli mildare än vad de är idag. Totalt sett förväntas dock inte att kostnaderna för vinterväghållningen blir lägre. Anledningen till det är att det väntas en förflyttning av maskiner och resurser norrut. Det kommer krävas mindre vinterväghållning i söder men i mellersta och norra delarna av landet kommer det istället krävas mer eftersom vädret där blir mer varierat. Det gäller att förkorta åtgärdstiderna, sänka startkriterierna samt allmänt stärka vinterväghållningsresurserna i norr. Detta innebär dock heller ingen ökad kostnad eftersom resursinsatserna samtidigt kan sänkas i mellersta och södra Sverige. Den totala skillnaden för vinterväghållningskostnaden väntas bli noll kronor. (Nordlander *et al.*, 2007)



Figur 8. Skredet i Munkedal 2006.
(Foto: SGI, 2006)

Idag står reparationer av skador orsakade av salt och frysningar för motsvarande ca 30 procent av de totala kostnaderna för brounderhåll. (Fallsvik *et al.*, 2007) Eftersom nollpunktspassagerna på vissa håll kommer öka men minska på andra är det svårt att avgöra huruvida betongkonstruktionernas beständighet totalt kommer att öka eller minska i landet. Något som talar för att den totala kostnaden för underhåll och reparationer av betongkonstruktionerna kommer att minska är att vägnätet är glesare i norr. I norr kan kostnaderna komma att öka men de kommer att minska i södra och mellersta Sverige där vägnätet är tätare. Det innebär att de ökade kostnaderna i norr kompenseras av de minskade kostnaderna i söder. I sammanhanget bör dock framföras att utbytet av broar, forskning inom betongbeständighet och valet av halkbekämpningsmetoder kommer att få större betydelse för broförvaltningen än vad klimatförändringarna får. (Nordlander *et al.*, 2007)

Enligt Vägverkets publicering (Vägverket, 2002) tas det för lite hänsyn till effekterna på transportförsörjningen om en skada uppstår. I vårt samhälle är det viktigt att vägförbindelser finns, fungerar och att eventuella störningar kan avhjälpas snabbt. Det är besvärligt, dyrt och i en del sammanhang omöjligt att leda om vägen då den befintliga vägen måste stängas av under en längre tid. (Räddningsverket, 2000)

Hur omfattande konsekvenserna efter en vägskada blir beror på hur allvarlig skadan är. Ibland kan vägen, eller delar av den, trafikeras om det bara är frågan om en liten skada. Hur komplexa konsekvenserna blir för samhället beror på hur områdets möjligheter att leda om trafiken eller upprätta provisoriska förbindelser på platsen ser ut, samt hur stort trafiktrycket normalt är på vägsträckan. (Nordlander *et al.*, 2007)

En bortspolad vägbank kan normalt repareras inom några dagar eller veckor. Om en mindre bro får omfattande skador tar det normalt 6-12 månader att laga den. Rörbroar är dock både snabbare och enklare att ersätta. Då en stor bro skadas så att den måste bytas ut tar det 2-3 år innan den nya bron är farbar. Merparten av de tillfällen då en väg spolats bort är skadorna så pass lindriga att de inte leder till några större konsekvenser. (Nordlander *et al.*, 2007)

Konsekvenserna efter att en väg översvämmats, förutom i de fall då vägen måste stängas av eller trafiken omledas, är ofta att underhållsbehovet ökar eftersom bärigheten kan försämrats av översvämningen. I dagsläget är läget under kontroll men risken för översvämningar förväntas öka i södra och västra Götaland. De vägsträckor som är sårbara är redan kartlagda och förebyggande åtgärder i form av att höja vägen är förhållandevis lätta att utföra. Lite svårare lär det bli där vägen först måste grundförstärkas. Kostnaderna för att underhålla vägarna kommer att öka. (Nordlander *et al.*, 2007)

Konsekvenserna blir normalt svåra vid djupa lerskred eller skred i nipor eftersom det kan ge stora nivåskillnader. (Nordlander *et al.*, 2007)

En del positiva konsekvenser av klimatförändringarna som hjälper till att hålla ner kostnaderna för vägbyggen och vägunderhåll finns. Byggsäsongen blir längre och tunnare överbyggnad räcker vid minskat tjäldjup vilket leder till lägre kostnader. Styvare bindningsmedel bör användas i asfalten för att förebygga spårbildning vid höga temperaturer, men det leder inte till några direkt ökade kostnader. (Nordlander *et al.*, 2007)

6 Forskning och utveckling

De dimensioneringsbestämmelser som finns idag är i många fall inte tillräckliga för att klara av framtidens klimat. Det finns en del pågående projekt där dimensioneringsreglerna ses över, inventeringar av vägnätet utförs och utveckling av teknisk utrustning görs för att förutse olyckor. Dessutom finns det flera områden som ännu inte börjat utforskas men där planer på att utöka kunskapen finns.

Regeringen skriver i sitt slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen att de konstaterat utifrån sammanlagda vetenskapliga resultat att Sverige kommer att drabbas av klimatförändringarna. Anpassningar inom samhället måste göras på ett stort antal områden och däribland finns väginfrastrukturen. De olika klimatscenerierna som används för att dra dessa slutsatser är dock osäkra och avviker från varandra. Huvuddragen är dock tydliga och tillräckliga att använda som underlag då planeringen av samhällsanpassningen görs. Förslag som regeringen föreslår för att styra enskilda, kommuner och staten att anpassa framförallt väginfrastrukturen efter klimatförändringarna finns i bilaga 2. (Holgersson *et al.*, 2007)

Det pågår forskning om skredrisker till följd av höga flöden. Man försöker ta fram prognosmetoder för grundvattentryck och portryck vid ett förändrat klimat. Förhoppningen är att prognosmetoden ska ge tillförlitliga stabilitetsanalyser för slänter och kunna användas både i dagens förhållanden och i det framtida klimatet. (Nordlander *et al.*, 2007) Regeringen föreslår att detta forskningsprojekt ska utökas så att även prognoser kan göras för grundvatten- och porvattentryck vid förändrad markanvändning. Regeringen anser också att denna forskning och utvecklingen av sensorer för mätning av tillståndet i markstabiliteten för att förutse sättningar och skred ska prioriteras. (Holgersson *et al.*, 2007)

Vägverket genomför för tillfället en riskanalys och riskinventering på det befintliga vägnätet. De fokuserar på ras-, skred-, erosionsriskområden samt vägpartier känsliga för avstängning. (Holgersson *et al.*, 2007) Vägverket håller också på att utveckla en metod för att identifiera de vägsträckor som är särskilt viktiga för samhället eller extra dyra att återställa efter en skada orsakad av höga flöden. När dessa vägar är identifierade ska erosionsskyddet förstärkas på de ställen det är nödvändigt. (Nordlander *et al.*, 2007)

Räddningsverket håller på att göra en översiktlig kartering av riskområden för skred, ras, översvämning och erosion i bebyggda områden. I dagsläget kartläggs inte områden som i framtiden kan bli riskområden p.g.a. klimatförändringarna. Regeringen anser att projektet bör utvecklas så att det även täcker den delen. (Holgersson *et al.*, 2007)

Behovet av särskilda åtgärder för vägtunnlar med hänsyn till förväntade förhöjda havsvattennivåer bör utredas. En metod för att finna vägtrummor med höga risknivåer i samband med intensivt regn håller på att utvecklas. Samtidigt tas riskreducerande åtgärder för platserna fram. Vägverket håller också på att modernisera metoderna för dimensionering av vattenflöden och vattennivåer samt reglerna för erosionsskydd. (Nordlander *et al.*, 2007)

Vägverket presenterar i sin rapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen förslag till åtgärder för att anpassa vägtransportsystemet till ett ändrat klimat. (Nordlander H., *et al.*, 2007) Regeringen skriver att det är mycket viktigt att iaktta dessa åtgärder för att öka säkerheten i vägnätet. Det anses extra viktigt att förebygga ras, skred och bortspolning av vägar och vägbankar. Dessutom är det viktigt att hänsyn tas till att förutsättningarna kommer att ändras i och med klimatförändringarna. De åtgärder som vägverket föreslår finns i bilaga 3 och 4. (Holgersson *et al.*, 2007; Nordlander *et al.*, 2007)

Dessa åtgärdsförslag gäller statliga vägar men regeringen föreslår att kommuner och enskilda väghållare bör utföra motsvarande kontroller på de vägar de har på sitt ansvar. (Holgersson *et al.*, 2007)

I allmänhet bör samarbetet och informationsutbytet mellan olika aktörer och myndigheter utvecklas. Exempelvis är det en bra idé om Väg- och banverket kan göra en gemensam översyn och utveckling av de bestämmelser som gäller vid höjdsättning av broar över vatten. Ett exempel på när informationsutbyte kan komma väl till pass är när ett område i anslutning till en väg ska bebyggas eller på annat sätt avsevärt ändra markavrinningen. För vägen kan detta få ödesdigra konsekvenser om man inte räknat med den förändringen vid dimensioneringen. (Holgersson *et al.*, 2007)

Regeringen anser även att de tekniska högskolorna bör införa undervisning om klimatförändringarna så att förståelsen för dess påverkan på geotekniska förhållanden och väg- och brokonstruktioner ökar. (Holgersson *et al.*, 2007)

7 Diskussion

Klimatet kommer att förändras och det är uppenbart att förutsättningarna för vägkonstruktioner kommer att se annorlunda ut i framtiden. Tillfällen med extremväder blir fler och kommer att föranleda olyckor och skador på vägarna. Det är till viss del regionbetonat hur vägarna påverkas av förändringarna. Det är intressant att vissa klimatfaktorer gör vägarna mer sårbara samtidigt som en del klimatfaktorer blir förmånliga för vägrans standard. Totalt sett kommer dock sårbarheten att öka eftersom många av de befintliga vägarna inte är dimensionerade efter de kommande förhållandena. Kostnaderna för att anpassa och förebygga skador på vägarna kommer att bli stora under en tid framöver eftersom fortlöpande förbättringar är nödvändiga.

Vägverket och regeringen verkar vara överens om att mycket finns att göra för att anpassa vägnätet till de pågående klimatförändringarna. Förslag på åtgärder och handlingsplaner har lagts fram. Det verkar först och främst vara nödvändigt att fullfölja och utveckla de inventeringar och karteringar som pågår för att få en överblick av hur situationen ser ut och kommer att se ut runt om i landet. Även forskning och utveckling av de hjälpmedel och metodbeskrivningar som Vägverket har i sin handlingsplan är viktiga att utföra i ett tidigt skede. Dessutom uttrycker regeringen tydligt att pengar ska avsättas för att göra dessa klimatanpassningar.

Det finns krav på att man måste börja ta hänsyn till de förhållanden som kan bli aktuella under vägens förväntade livslängd. För att kunna göra det måste det finnas

klimatprognoser under den perioden. De klimatscenario som finns idag, är som regeringen uttrycker det "...innehåller en del osäkerheter. Huvuddragen i scenarierna är dock så pass robusta att de kan användas som planeringsunderlag för att påbörja en klimatanpassning av det svenska samhället". Men jag tror att myndigheter, staten och enskilda kommer ta de kommande problemen mer på allvar om det kan presenteras i form av mer entydiga prognoser. Därför är det bra att regeringen vill förtydliga SMHI:s och andra myndigheters ansvar för att sprida kunskap om klimatförändringarna till de aktörer som har ansvar att anpassa samhället efter dessa.

I tabell 5 framgår att de mest kostsamma skadorna är de orsakade av översvämning och erosion. Skillnaden mellan dessa skadekostnader och de orsakade av skred och ras är mycket stor. Men i den kostnadsuppskattningen är inte det stora skredet i Munkedal inräknat. Den stora kostnadsskillnaden kan man tänka sig beror på att det är mer vanligt förekommande med översvämningar och erosion än vad det är med skred och ras. Översvämningar kan också inträffa fler gånger på ett och samma ställe om vägen ligger i ett kritiskt område. Ett större ras eller skred inträffar nog inte ofta på samma ställe eftersom marken normalt återfår sin stabilitet efteråt. Vägverkets inventering av skador visar just detta, 75 procent av skadorna var bortspolade och översvämmade vägar och 20 procent var ras- och skredskador.

Ett fungerande transportsystem är självklart viktigt. Vägtransportsystemet är på något sätt viktigt för oss alla. Vi köper varor som distribuerats till affären genom lastbilstransport, vi åker buss till och från jobbet/skolan/kompisar, vi blir hämtade av ambulans när vi blir sjuka, vi åker på affärsresor i tjänstebilen eller så tar vi familjebilen till Åre för att åka skidor. Det kvittar på vilket sätt vi har nytta av vägnätet, däremot kvittar det inte längre om det skulle börja krångla. Det är inte acceptabelt att transporter eller privatresor i framtiden ofta försenas p.g.a. att vägen har rasat ihop eller en tunnel är stängd till följd av översvämning. Ännu värre skulle det vara om ett eller fler liv gå till spillo då en underdimensionerad bro plötsligt välter p.g.a. stark vind. Därför måste vägtransportsystemet liksom andra transportsystem och sektorer i samhället anpassas i takt med att klimatet ändras.

Sverige har som bekant undertecknat FN:s Klimatkonvention i vilken vi bl.a. förbinder oss att tillsammans med andra nationer samarbeta för att underlätta arbetet att anpassa samhället till ett förändrat klimat. Även om insatserna hittills varken varit många eller omfattande så verkar vi vara på väg åt rätt håll. Debatten har startat och aktörer i samhället har blivit mer medvetna om att något måste göras. Det enda som krävs nu är att fortsätta i samma positiva riktning och verkställa de åtgärder som är på planeringsstadiet.

8 Slutsats

➤ Vilka klimatfaktorer bör vägarna anpassas efter?

De väderfaktorer som påverkar vägarna är temperatur, nederbörd, höga flöden, isbeläggning, havsnivå och vind.

Temperaturens påverkan på vägarna kan vara både köld- och värmerelaterade. Låga temperaturer, närmare bestämt frystemperaturer, skadar vägbeläggningen p.g.a. frostsprängning, vittring och tjälsprickor. Frysgrader och regn ger väghalka och saltning krävs. Vägsalt skadar betongkonstruktioner och gör att de åldras snabbare.

Högre temperaturer orsakar spårbildning då asfalten blir mjuk och benägen att deformeras. Å andra sidan minskar spårbildningen orsakade av dubbdäck om användningen av sådana minskar som följd av högre temperaturer. Vissa vägar använder marktjälen som en resurs för att upprätthålla bärigheten. I dessa fall minskar bärigheten då marktjälen uteblir.

Temperaturalstrade vägskador kommer att förskjutas från att tidigare mest ha varit orsakade av kyla till att istället orsakas av värme.

Nederbördens inverkan på vägarna är av stor betydelse och påverkar vägarna på flera olika sätt. Nederbörden kommer att öka på vintern och minska på sommaren och mer av nederbörden kommer i form av regn istället för snö. Långvariga intensiva regn gör att avrinningen blir stor och leder till ökad grundvattenbildning. Det ändrar i sin tur porvattentrycket vilket försämrar markens stabilitet. Risken för ras, skred, raviner, moränkskred och slamströmmar ökar.

Hög avrinning ger ökad vattenvolym och höga flöden i vattendragen. Det ökar erosionen på vägar parallellt med vattendragen och på vägbankar och brostöd då vägen korsar vattendraget. Stora vattenvolymer och höga flöden riskerar att översvämma vägar om vattnets fria passage under vägen inte är tillräckligt stor. En annan orsak till att vägar kan översvämmas är om de höga flödena drar med sig grenar, sten och annat material som kan sätta igen öppningen så att vattnet däms. På samma sätt kan vägbankar spolats bort och brostöd flyttas ur sitt läge.

Träbroar skadas av för mycket nederbörd och fukt. Dessa förhållanden kan få träet att mögla och ruttna.

Risken för intensivt snöfall i kombination med kraftig vind ökar. Vid sådana tillfällen kan snödrev uppstå vilket innebär trafikproblem och svårigheter med vinterväghållningen.

Havsnivån stiger och vägar nära kusten hotas av översvämning. Vägtunnlar vid lågt liggande vägar och undervattenstunnlar kan komma att fyllas med vatten.

Vinden påverkar i första hand broarna. Hängbroar och snedkabelbroar kan vid vissa vindhastigheter komma i svängning eller börja vibrera. Det sliter på hängstagen. Broar med brostöd riskerar att välta om vindmaxhastigheten och dess frekvens ökar.

Vägar nära kusten påverkas av vinden genom att de utsätts för vind, våg och strömmars erosion.

➤ **Hur kan det förebyggas att skador uppkommer på befintliga vägar?**

För att undvika att skador uppstår på befintliga vägar kan man utföra vissa åtgärder. Förebyggande åtgärder för att slippa vattendämning och översvämning av vägar vid vägtrummor är att montera galler eller fångdammar för att motverka igensättning av trumman. Underhåll av diken och avvattningsystem samt regelbunden rensning av skyddsneten och trummorna förebygger också översvämning. Man kan också byta ut befintliga vägtrummor mot nya med större dimension eller montera in fler trummor på platsen.

Det kan vara lönsamt att göra ombyggnationer och förstärkningar på broar och vägunderbyggningar tidigare än planerat i förebyggande syfte. Speciellt aktuellt är det att se över de broar i riskområden med en fri höjd över vattnet på <0,5 m. Även broar i övriga landet som har en fri höjd över vattnet på <0,3 m kan behövas bytas ut. För att förebygga ras och skred kan man göra grundförstärkningar och skredvarningssystem kan installeras. Om man vid kontroller av vägarna är uppmärksam på deformationer och sprickor kan förebyggande åtgärder för skred och ras sättas in på platsen eftersom det ofta är tecken på att marken är benägen att röra på sig.

I Vägverkets handlingsplan för att minska vägarnas sårbarhet för höga flöden och vattenstånd framgår det att de tänker göra en inventering för att kartlägga de vägar som är mest sårbara med hänsyn till transportförsörjningen och områden med hög skredrisk. Därefter ska dessa platser prioriteras för riskreducerande åtgärder.

➤ **Vilka anpassningar är nödvändiga då vägar ska byggas?**

Vid nybygge av vägar finns det flera anpassningar som kan iakttas för att undvika att skador uppstår på vägarna orsakade av väderpåfrestningar. Det viktigaste är att redan vid planeringsstadiet göra vissa hänsynstaganden. Man måste ta hänsyn till de förhållanden som kan bli aktuella under vägens förväntade livslängd. Det gäller att uppföra vägarna på sådana platser som är lämpliga för att undvika skred, ras och översvämningar i dagsläget. Dessutom måste man tänka på att dessa förhållanden kan förändras i framtiden. Risktänkandet är viktigt vid planering och dimensionering.

Vid dimensionering av broar, erosionsskydd och vägtrummor måste man höja säkerhetskraven och utöka säkerhetsmarginalerna. Exempelvis bör dimensioneringen göras med hänseende på 100-årsflödet istället för 50-årsflödet för att minska risken för översvämning, dämning och bortspolning av vägar. Dessutom kan man bestämma HHW enligt en längre återkomsstid. Brobyggen kan utföras så att det blir en högre fri höjd över vattenytan.

Detsamma gäller för alla andra vägkonstruktioner. Det är nödvändigt att skärpa säkerhetskraven så att de även uppfylls i framtiden då extremväder förväntas bli mer frekvent. Det är viktigt att välja återkomsttider och material så att konstruktionerna står emot de vind, temperatur och nederbördspåfrestningar som kommer i framtiden.

Fler länder i världen genomgår nu precis som Sverige förändringar som ger andra förutsättningar för väghållningen. Det är därför idé att byta information med andra länder och tillämpa tekniska lösningar som de använder sig av. Likaså måste

samarbetet, informationsutbytet och informationssammanställningen av material mellan svenska myndigheter förbättras.

9 Referenser

- Bernes, 2003: En Varmare Värld. *SMHI (SweClim) och Naturvårdsverket, Monitor 18*, s. 34, 36-37, 40-42, 44, 98-99, 101, 103-104, 106. AB Dangårds Grafiska, Ödeshög
- Bergström, Hellström, Andréasson, 2006: Nivåer och flöden i Vänerens och Mälarens vattensystem – hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SMHI Reports Hydrology No. 20*, SMHI, SE-601 76 Norrköping, Sweden.
- Castensson, 1992. *Infrastrukturen Sveriges Nationalatlas*, s.34. ISBN 91-87760-14-2
- Fallsvik, Hågeryd, Lind, Alexandersson, Edsgård, Löfling, Norlander, Thunholm, 2007: Översiktlig av jordrörelser vid förändrat klimat, *Statens geotekniska institut (SGI) Varia 571*, Linköping
- Holgersson, Hedlund, Ahlroth, Frost, Rosenqvist, Thörn, 2007: Klimat och sårbarhetsutredningen. *Statens offentliga utredningar SOU 2007:60*, Stockholm
- Häggström, 2001: Ökade vattenflöden – Behov av åtgärder inom väghållningen. *VV Publ 2002:156*. Bilaga 4: Utredning om klimatförändring, flödesbestämning och havsvattennivåförändring, SMHI
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Working Group I Report to the Fourth Assessment Report of the IPCC, s. 258, 262-263, 371, 409. Cambridge University Press. ISBN 13:9780521705967
- Michaneck & Zetterberg, 2008: *Den evenska miljörätten 2:a upplagan*. Iustus förlag AB, Uppsala ISBN 978-91-7678-685-7
- Nordlander, Löfling, Andersson, 2007: Klimat och sårbarhetsutredningen. *Statens offentliga utredningar SOU 2007:60*. Bilaga B1: Vägverkets rapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen – gruppen transporter. Stockholm
- Raab & Vedin, 2004: *Klimat, sjöar och vattendrag 2:a utgåvan Sveriges Nationalatlas* s.97. ISBN 91-87760-53-2
- Rankka & Rydell, 2005: Erosion och översvämningar, *Statens geotekniska institut (SGI), Deluppdrag 2, Varia 560:2*, Linköping
- Rummukainen, Bergström, Persson, Rensner, 2005a: Anpassning tillklimatförändringar. Kartläggning av arbete med sårbarhetsanalyser, anpassningsbehov och anpassningsåtgärder i Sverige till framtida klimatförändring. *SMHI Reports Meteorology and Climatology No. 106*, SMHI, SE-601 76 Norrköping, Sweden. 44 pp.
- Rummukainen, Rydell, Sellberg, Lind, 2005b: Klimatförändringar kräver anpassning av samhällsbyggnad och infrastruktur – börja nu! *Väg- och Vattenbyggaren*, 2005 No 1, s. 29-33
- Räddningsverket, 2000: *Översvämning*, Karlstad, ISBN 91-7253-081-2
- Summerfield, 1991: *Global Geomorphology*, s.163-168. Pearson Education Limited, Edinburgh
- SWECLIM, 2002: Expertstöd I klimatfrågan. *Årsrapport 2001*. SMHI

Väglag SFS 1971:948

Vägverket, 2002: Ökade vattenflöden – behov av åtgärder inom väghållningen. *VV Publ 2002:156*. Borlänge

Vägverket, 2004: Vägar och gators utformning. *VV Publ 2004:80*. Borlänge. ISSN 1401-9612

Internet

Boverket: <http://www.boverket.se/templates/Page.aspx?id=119&epslanguage=SV> (hämtad 2008-05-14)

Naturvårdsverket 2007a:
<http://www.naturvardsverket.se/sv/klimat-i-forandring/klimatpolitiken/Internationell-klimatpolitik/Klimatkonventionen-och-Kyotoprotokollet/Fakta-om-klimatkonventionen/> (hämtad 2008-02-20)

Naturvårdsverket 2007b:
<http://www.naturvardsverket.se/sv/klimat-i-forandring/klimatpolitiken/Internationell-klimatpolitik/Klimatkonventionen-och-Kyotoprotokollet/> (hämtad 2008-02-20)

NE: http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=O259234 (hämtad 2008-05-10)

NE: http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=159217 (hämtad 2008-05-19)

NE: http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=309449 (hämtad 2008-05-21)

NE: http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=309870 (hämtad 2008-05-30a)

NE: http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=227460 (hämtad 2008-05-30b)

NE: http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=110243 (hämtad 2008-05-30c)

NE: http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=310719 (hämtad 2008-05-30 d)

SMHI: <http://www.smhi.se/sgn0106/rossby/sweclim/> (hämtad 2008-04-17)

Statens geotekniska institut (SGI):
http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage_134.aspx?epslanguage=SV
(hämtad 2008-04-15)

Vägverket, 2007: http://www.vv.se/templates/page3_14079.aspx (hämtad 2008-05-11)

Vägverket, 2008: http://www.vv.se/templates/page2_2_3670.aspx (hämtad 2008-04-15)

Muntlig källa

Jonas Åkerman. Associate Professor, Senior Lecturer. Department of Physical Geography and Ecosystems Analysis, University of Lund. Lund. Samtal 2008-05-30

Handlingsplan

Den föreslagna handlingsplanen har som övergripande mål att begränsa dessa brister och på sikt minska vägnätets känslighet för höga flöden och vattenstånd.

Åtgärder för att avhjälpa bristerna delas in i tre åtgärdsområden

1. Riktade åtgärder för befintliga anläggningar
2. Generella åtgärder vid planering, dimensionering, inspektion och underhåll
3. Hjälpmedel och metodbeskrivningar

Riktade åtgärder för befintliga anläggningar

1a En översiktlig inventering genomförs för att finna de vägavsnitt där konsekvenserna av höga flöden och vattennivåer är störst. För att med en begränsad insats finna aktuella vägavsnitt görs riskinventeringen dels med utgångspunkt från de vägavsnitt som är mest sårbara med hänsyn till transportförsörjningen, dels med utgångspunkt från de vägavsnitt där skredrisken på grund av höga portryck kan vara hög. Identifierade vägavsnitt prioriteras med hänsyn till behov av riskreducerande åtgärder. Åtgärden förutsätter att 3a och 3b genomförs och ger underlag för 2b.

1b Detaljutformning av riskreducerande åtgärder för prioriterade vägavsnitt genomförs. Åtgärder kan dels bestå av fysiska åtgärder, dels av beredskapsplaner som tas fram i samråd med berörda länsstyrelser och räddningstjänster.

Generella åtgärder vid planering, dimensionering, inspektion och underhåll

2a Det strategiskt viktiga vägnätet beskrivs med avseende på effekter av störningar på transportförsörjningen i allmänhet och under krisförhållanden. Beskrivningen kan användas som underlag för att formulera krav på brukbarhet på vägnätet och i den fysiska planeringsprocessen. Åtgärden förutsätter att 3a genomförs.

2b Dimensioneringsreglerna för vägar, broar och tunnlar ändras så att utökad hänsyn till konsekvenser av höga flöden och vattenstånd tas. Utöver hänsyn till risken för allvarlig personskada skall hänsyn även tas till risken för skada på miljö, egendom och transportförsörjning. Åtgärden förutsätter att 3a genomförs.

2c Rutiner för inspektion och underhåll av vägar förändras så att möjligheterna att förebygga skador med allvarliga konsekvenser ökas.

Hjälpmedel och metodbeskrivningar

3a Metod för beskrivning av vägnätets sårbarhet ur transportsynpunkt tas fram.

3b Metod för översiktlig inventering av skredrisker tas fram.

3c Metod för översiktlig inventering av risker kopplade till avvattning av väg och vägtrummor tas fram.

3d Metod för översiktlig inventering av risk för skada på brogrundläggning på grund av erosion tas fram.

3e Metod för dimensionering av erosionsskydd i vatten revideras. Metoden skall medge dimensionering med avseende på flöden motsvarande olika återkomsttider och även av andra typer av skydd än fyllning av grus, sten och block.

3f Metod för bestämning av karakteristiska flöden vid små och medelstora avrinningsområden revideras. Metoden skall kompletteras med nya uppgifter om nederbörds mängder och vattenföringar och ta hänsyn till markanvändningen mera lokalt.

Holgersson, Hedlund, Ahlroth, Frost, Rosenqvist, Thörn, 2007: Klimat och sårbarhetsutredningen. Statens offentliga utredningar SOU 2007:60, 6 kap. Stockholm

Förslag

För att samhället ska kunna anpassas vägtransportsystemet till den förändrade klimatet föreslår regeringen att det ska ske ett förtydligande och i vissa fall omfördelad av ansvarsområdena för enskilda, kommuner och staten.

- Länsstyrelsen bör få en central roll i anpassningsarbetet. En klimatanpassningsdelegation bör inrättas i varje län som får till ansvar att samordna arbetet mellan kommuner, näringsliv och regionala sektorsmyndigheter. Delegationen bör stödja kommunerna, bidra med kunskap, sammanfatta, tillhandahålla, tolka och vidareförmedla information samt samordna, driva på och följa upp arbetet.
- SMHI bör ansvara för kunskapsspridning om klimatförändringarna till de aktörer som har ansvar att anpassa samhället efter dessa. SMHI bör också få i uppdrag att utreda möjligheterna att utöka varningssystemen för extremväder och att införa sådana system där så är lämpligt. De bör om möjligt utveckla varningssystem för värmeböljor, torka, stormfällning och intensiva regn.
- Naturvårdsverket bör få ansvar för nationell och internationell uppföljning och rapportering av klimatanpassningsarbetet.
- SGI ska bistå med information om ras, skred och erosion till kommuner och länsstyrelser under den kommunala planeringsprocessen. SGI bör få ökade resurser för dessa uppgifter. De bör också få i uppdrag att tillsammans med SGU, Lantmäteri- och Räddningsverket upprätta en nationell kartdatabas över skredförutsättningar inom bebyggda områden och potentiella exploateringsområden. Databasen ska beakta klimatförändringar. Kartmaterialet ska vara i digital form och kostnadsfritt tillgängligt för alla.
- Instruktionerna för bl.a. sektormyndigheterna Vägverket, Boverket, SGI, SGU, SMHI, Räddningsverket och Naturvårdsverket bör ändras. De bör få tydligare ansvar för anpassningsarbetet inom respektive område. De ska beakta både riskerna för extremhändelser och de kontinuerliga klimatförändringarna.
- Vägverket bör få i uppdrag att tillsammans med Banverket kartlägga och åtgärda väg- och rälssträckor som är skadebenägna p.g.a. förändrad nederbörd och ökade flöden. De bör också se över de dimensioneringskrav som finns för flöden och höjdsättning. Detta bör sammanställas i en plan som ska redovisas och användas som underlag vid nästa transportpolitiska beslut.
- Lantmäteriverket bör få resurser för att skapa en ny nationell digital höjddatabas med tätare och noggrannare höjddata än dagen. Databasen ska vara kostnadsfritt tillgänglig för kommuner och myndigheter.
- Räddningsverket bör fortsätta att översiktligt kartera de områden med översvämnings- och skedrisk i bebyggda områden. De bör dock även ta hänsyn till klimatförändringarna och kartera även de områden som kan bli riskområden i framtiden. Dessutom bör de utreda om redan karterade områden

bör ses över och kompletteras för att visa även framtida riskområden.

Kartmaterialet ska vara i digital form och kostnadsfritt tillgängligt för alla.

- Kommunerna bör få större ekonomiskt ansvar för konsekvenserna vid felaktigt planläggning. Det ska sätta större press på kommunerna att ta sitt ansvar vid den fysiska planeringen så att hänsyn tas till översvämning, ras, skred och erosion i dagens och framtidens klimat.
- Plan och byggnadslagen (PBL) bör skilja ras och skred från olycka, översvämning och erosion så att det enligt lag bli nödvändigt att beakta risken för ras och skred vid lokalisering av bebyggelser. PBL bör också kompletteras så att möjlighet ges att fastställa krav i detaljplanen på säkerhetshöjande och skadeförebyggande åtgärder för att förhindra eller minska risken för översvämning, ras, skred och erosion, genom att exempelvis använda funktionsbaserade krav. Kommunerna bör också få rätt genom PBL att utföra åtgärder på annans mark som har stor betydelse för att skydda omgivande bebyggelse.
- Staten bör vid nästa transport- och infrastrukturpolitiska beslut avsätta pengar för att fortlöpande klimatanpassa trafikinfrastrukturen.

Nordlander, Löfling, Andersson, 2007: Klimat och sårbarhetsutredningen. Statens offentliga utredningar SOU 2007:60. Bilaga B1: Vägverkets rapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen – gruppen transporter. Stockholm

Förslag till åtgärder för att anpassa vägtransportsystemet till ett ändrat klimat

För att anpassningen ska kunna göras på ett effektivt sätt krävs att kompetens inom området byggs upp och samordnas. Anpassningen utförs med samhällsekonomiskt optimerade åtgärder i den ordinarie planeringen. Förslag till åtgärder som har ett brett allmänintresse:

1. Inrättande av en nationell instans med ansvar för klimatfrågor. Instansen bör ansvara för analyser av klimatscenarier, fastställa vilket scenario som ska anses mest trovärdigt och därmed planeras utifrån samt framtagande av relevant underlag för samhällets olika aktörer utifrån detta. Instansen bör även få till uppgift att bistå samhällsaktörerna med expertkunskap inom området.
2. En nationell databas över geotekniska och hydrologiska undersökningar bör tas fram
3. En förbättrad nationell höjddatabas bör tas fram
4. Kompetens inom klimatområdet byggs upp inom Vägverket
5. Interna projekten under punkt 7.2 och 7.3 genomförs (d.v.s. 7.2 Ansvar och förändring av regelverk respektive 7.3 Forsknings- och utvecklingsbehov, Peggy Karlssons anm.)
6. Djupstudier inom särskilt utsatta områden, geografiskt eller systemdelar, genomförs

Holgersson, Hedlund, Ahlroth, Frost, Rosenqvist, Thörn, 2007: Klimat och sårbarhetsutredningen. Statens offentliga utredningar SOU 2007:60, 4 kap. Stockholm

Anpassningsåtgärder och överväganden

- Fortsatt utveckling och användning av modellen för riskbaserade funktionskrav,
- riskinventering av känsliga vägavsnitt i befintligt vägnät,
- tydligare hänsynstagande till risker för ras och skred vid dimensionering och utförande av vägkonstruktioner,
- fördjupning och tidigareläggning av studie avseende åtgärder kring igensättning av trummor och mindre rörbroar,
- krav på vägars höjdsättning i förhållande till vattennivåer vid nyprojektering,
- översyn av dimensioneringskrav för vägar avseende återkomsttider och nivåer för flöden, förslagsvis utifrån en återkomsttid på 100 år i stället för 50 år,
- ökad tillsynsverksamhet och uppföljning efter nybyggnation,
- inventering av broar med en fri höjd <0,3 meter över HHW över hela landet,
- inventering av broar med en fri höjd <0,5 meter över HHW i de områden där ökade flöden väntas,
- översyn av krav avseende fri höjd över vatten vid ombyggnation och nyprojektering, förslagsvis utifrån en återkomsttid på 100 år i stället för 50 år,
- översyn av regler för erosionsskydd,
- kartläggning av skador på erosionsskydd samt åtföljande åtgärdsprogram avseende sårbarhet mot höga flöden,
- komplettering av databasen i broförvaltningssystemet med relevanta uppgifter avseende vatten.

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND.

Serien startade 1985. Uppsatserna även tillgängliga på <http://www.geobib.lu.se/>

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden.

Report series started 1985. Also available at <http://www.geobib.lu.se/>

100. Hahn, K., (2004): Termohalin cirkulation i Nordatlanten.
101. Lina Möllerström (2004): Modelling soil temperature & soil water availability in semi-arid Sudan: validation and testing.
102. Setterby, Y., (2004): Igenväxande hagmarkers förekomst och tillstånd i Västra Götaland.
103. Edlundh, L., (2004): Utveckling av en metodik för att med hjälp av lagerföljdsdata och geografiska informationssystem (GIS) modellera och rekonstruera våtmarker i Skåne.
104. Schubert, P., (2004): Cultivation potential in Hambantota district, Sri Lanka
105. Brage, T., (2004): Kvalitetskontroll av servicedatabasen Sisyla
106. Sjöström, M., (2004): Investigating Vegetation Changes in the African Sahel 1982-2002: A Comparative Analysis Using Landsat, MODIS and AVHRR Remote Sensing Data
107. Danilovic, A., Stenqvist, M., (2004): Naturlig föryngring av skog
108. Materia, S., (2004): Forests acting as a carbon source: analysis of two possible causes for Norunda forest site
109. Hinderson, T., (2004): Analysing environmental change in semi-arid areas in Kordofan, Sudan
110. Andersson, J., (2004): Skånska småvatten nu och då - jämförelse mellan 1940, 1980 och 2000-talet
111. Tränk, L., (2005): Kadmium i skånska vattendrag – en metodstudie i föroreningsmodellering.
112. Nilsson, E., Svensson, A.-K., (2005): Agro-Ecological Assessment of Phonxay District, Luang Phrabang Province, Lao PDR. A Minor Field Study.
113. Svensson, S., (2005): Snowcover dynamics and plant phenology extraction using digital camera images and its relation to CO₂ fluxes at Stordalen mire, Northern Sweden.
114. Barth, P. von., (2005): Småvatten då och nu. En förändringsstudie av småvatten och deras kväveretentionsförmåga.
115. Areskoug, M., (2005): Planering av dagsutflykter på Island med nätverkanalys
116. Lund, M., (2005): Winter dynamics of the greenhouse gas exchange in a natural bog.
117. Persson, E., (2005): Effect of leaf optical properties on remote sensing of leaf area index in deciduous forest.
118. Mjöfors, K., (2005): How does elevated atmospheric CO₂ concentration affect vegetation productivity?
119. Tolleback, E., (2005): Modellering av kväveavskiljningen under fyra år i en anlagd våtmark på Lilla Böslid, Halland
120. Isacsson, C., (2005): Empiriska samband mellan fältdata och satellitdata – för olika bokskogsområden i södra Sverige.
121. Bergström, D., Malmros, C., (2005): Finding potential sites for small-scale

- Hydro Power in Uganda: a step to assist the rural electrification by the use of GIS
122. Magnusson, A., (2005): Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata.
 123. Levallius, J., (2005): Green roofs on municipal buildings in Lund – Modeling potential environmental benefits.
 124. Florén, K., Olsson, M., (2006): Glacifluviala avlagrings- och erosionsformer i sydöstra Skåne – en sedimentologisk och geomorfologisk undersökning.
 125. Liljewalch-Fogelmark, K., (2006): Tågbuller i Skåne – befolkningens exponering.
 126. Irminger Street, T., (2006): The effects of landscape configuration on species richness and diversity in semi-natural grasslands on Öland – a preliminary study.
 127. Karlberg, H., (2006): Vegetationsinventering med rumsligt högupplösande satellitdata – en studie av QuickBird-data för kartläggning av gräsmark och konnektivitet i landskapet.
 128. Malmgren, A., (2006): Stormskador. En fjärranalytisk studie av stormen Gudruns skogsskador och dess orsaker.
 129. Olofsson, J., (2006): Effects of human land-use on the global carbon cycle during the last 6000 years.
 130. Johansson, T., (2006): Uppskattning av nettoprimärproduktionen (NPP) i stormfällan efter stormen Gudrun med hjälp av satellitdata.
 131. Eckeskog, M., (2006): Spatial distribution of hydraulic conductivity in the Rio Sucio drainage basin, Nicaragua.
 132. Lagerstedt, J., (2006): The effects of managed ruminants grazing on the global carbon cycle and greenhouse gas forcing.
 133. Persson, P., (2007): Investigating the Impact of Ground Reflectance on Satellite Estimates of Forest Leaf Area Index
 134. Valoczi, P. (2007): Koldioxidbalans och koldioxidinnehållsimulering av barrskog i Kristianstads län, samt klimatförändringens inverkan på skogen.
 135. Johansson, H. (2007): Dalby Söderskog - en studie av trädarternas sammansättning 1921 jämfört med 2005
 137. Kalén, V. (2007): Analysing temporal and spatial variations in DOC concentrations in Scanian lakes and streams, using GIS and Remote Sensing
 138. Maichel, V. (2007): Kvalitetsbedömning av kväveretentionen i nyanlagda våtmarker i Skåne
 139. Agardh, M. (2007): Koldioxidbudget för Högestad – utsläpp/upptag och åtgärdsförslag
 140. Peterz, S. (2007): Do landscape properties influence the migration of Ospreys?
 141. Hendrikson, K. (2007): Småvatten och groddjur i Täby kommun
 142. Carlsson, A. (2008): Antropogen påverkan i Sahel – påverkar människans aktivitet NDVI uppmätt med satellit.
 143. Paulsson, R. (2008): Analysing climate effect of agriculture and forestry in southern Sweden at Högestad & Christinehof Estate
 144. Ahlstrom, A. (2008): Accessibility, Poverty and Land Cover in Hambantota District, Sri Lanka. Incorporating local knowledge into a GIS based accessibility model.
 145. Svensson T. (2008): Increasing ground temperatures at Abisko in Subarctic Sweden 1956-2006
 146. af Wåhlberg, O. (2008): Tillämpning av GIS inom planering och naturvård

- En metodstudie i Malmö kommun.
- 147 Eriksson, E. och Mattisson, K. (2008): Metod för vindkraftslokalisering med hjälp av GIS och oskarp logik.
- 148 Thorstensson, Helen (2008): Effekterna av ett varmare klimat på fenologin hos växter och djur i Europa sedan 1950.
- 149 Raguz, Veronika (2008): Karst and Waters in it – A Literature Study on Karst in General and on Problems and Possibilities of Water Management in Karst in Particular.