

GEOGRAFIPROGRAMMET
Stockholms universitet
Geografi I, ht 2009

Är Stockholms tunnelbana hotad av de framtida klimatförändringarna?



Författare: Bovin, Mattias och Jonsson, Caroline
Handledare: Yrgård, Anders
14.1.2010

SAMMANFATTNING

Är Stockholms tunnelbana hotad av de framtida klimatförändringarna?

Stockholms tunnelbanesystem är till stora delar nedgrävt under marknivån och havsnivån. Stadens relativa läge med Mälaren i väst och Östersjön i öst skulle kunna skapa en sårbarhet för tunnelbanan på grund av det. Genom tunnelbanans historia har inga större skador skett, men de senaste 10 åren har översvämningar drabbat systemet. Med de framtida klimatförändringarna kan hotbilden ses som allvarligare. Det är dock svårt att förutspå men med hjälp av klimatmodeller och forskning är det möjligt att framställa framtidsscenarier för Stockholms klimat.

Vår frågeställning i det här arbetet är: Är Stockholms tunnelbana hotad av de framtida klimatförändringarna?

Syftet med den här uppsatsen är därför att undersöka ifall Stockholms tunnelbanesystem kommer att drabbas av översvämningar på grund av ändrade förutsättningar för klimatet. Vi ska försöka svara på frågor som hur det kan drabbas, var det kan drabbas hårdast och varför just där. Särskilda problem som kommer att belysas är vattenstånden i Mälaren respektive Östersjön, utifrån olika aspekter kopplade till klimatförändringarna. Om det är så att tunnelbanan är hotad, kommer Stockholms Stad att vidta åtgärder för att minimera de hoten och i så fall vilka?

För basfakta om tunnelbanesystemet och de globala klimatförändringarna har vi använt oss av trycklitteratur. I sökandet av framtidsscenarier har det istället varit forskningsrapporter och sårbarhetsanalyser som legat till grund för det vi kommit fram till. Vår fallstudie baserade vi först och främst på en telefonintervju med ansvarig miljökonsult.

Det bedrivs idag mycket forskning kring ämnet och det är främst SMHI som står för den. De tar fram rapporter om klimatförändringar och framställer framtidsscenarier. Utifrån forskningen konstruerar Stockholms Stad risk- och sårbarhetsanalyser kopplade till ett framtida klimat.

Vattenståndet i Mälaren har pendlat runt ett medelvärde om 415 cm, innan en svår översvämning drabbade staden år 2000. Den berodde på kraftig nederbörd som föll under sommaren och i slutet av året, mellan 60 och 90 % över den normala nederbördsmängden. Det var då enligt Stockholms Lokaltrafik (SL) mycket nära att vatten rann in både i tunnelarna vid Stockholms central och över kanten på stationen vid Gamla Stan. 1992 föll den största mängd nederbörd i Stockholms innerstad som sedan år 1900 fallit under ett fåtal dagar, 87 mm. Enligt SMHI kan liknande nederbördsmängder i framtiden komma att drabba Stockholm allt oftare. Generellt sett förutspås Stockholms framtida klimat att bli både varmare och blötare. Det skulle kunna ge översvämningrisker av två slag, dels att tillrinningen till Mälaren ökar vilket leder till ett högre vattenstånd och dels av ökad nederbörd i form av extrema skyfall.

Vår slutsats är att största hotet i dagens läge inte är den långsamma höjningen av Mälarens vattenstånd, utan istället de extrema skyfall som kan översvämma gator och torg och därför rinna in i tunnelbanan. Rinner vattnet in vid spåren kan det få svåra konsekvenser för större delar av systemet, som noggrannare beskrivs i analysen.

Författare: Bovin, Mattias och Jonsson, Caroline

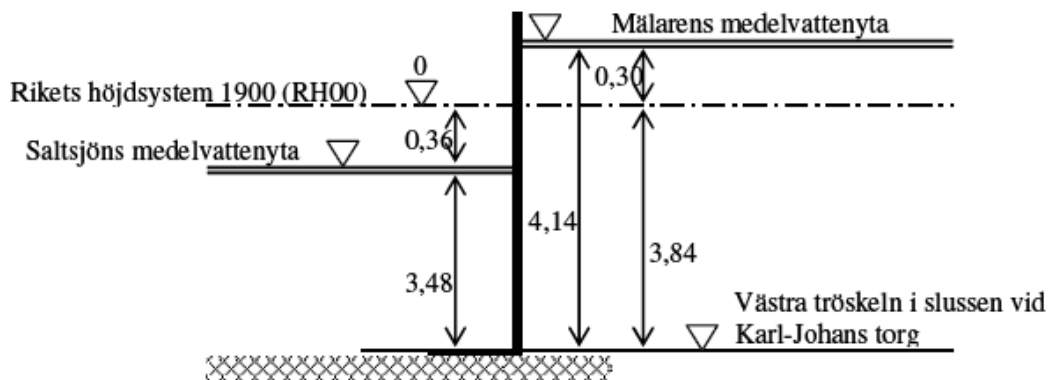
INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Inledning	4
Syfte och frågeställning	4
Avgränsning	4
Metod och källmaterial	5
Allmänt om sårbarhetstemat:	
Stockholm – Ett perfekt eller utsatt läge?	5
Klimatförändringar	6
<i>Global uppvärmning</i>	6
<i>Klimatmodeller</i>	6
<i>Stockholms framtida klimat</i>	6
Exponering och känslighet	7
<i>Tunnelbanans utsatthet</i>	9
Adaption	11
Uppfattning i media	12
Fallstudie: Nya Slussen	13
Områdesbeskrivning	13
Problembeskrivning	14
Åtgärder	14
Resultat	15
Analys	15
Slutsatser	16

INLEDNING

Stockholms tunnelbanesystem transporterar dagligen omkring 300 000 människor mellan T-Centralen och Slussen (Burghauser et al. 2009) och utgör därför kärnan i Stockholms kollektivtrafik. Det representerar en fjärdedel av Storstockholms totala befolkning och eventuella störningar får därför stora konsekvenser. Drabbas tunnelbanesystemet drabbas alltså en större del av Stockholm.

Staden har ett relativt läge med sjön Mälaren i väst och Östersjön i öst, vilket gör att vattennivån i dessa båda är av stor betydelse för Stockholms sårbarhet. Mälaren är Sveriges tredje största sjö och försörjer dagligen 1,5 miljoner människor med dricksvatten (Larsson, 2005). Vattenståndet i sjön har en naturlig variation och redan för över 300 år sedan diskuterades översvämningshotet mot Stockholm på grund av höga vattenstånd i Mälaren (Larsson, 2005). För att kontrollera vattenståndet infördes 1941 ett lagtillstånd om att få reglera nivån och 1943 sattes det i bruk i form av slussar mellan Mälaren och Östersjön. Högsta tillåtna vattenstånd i Mälarens höjdsystem¹ sattes då till 470 cm. I genomsnitt är den 415 cm i samma system.



Figur 1. Mälarens höjdsystem²

Världshavens nivå stiger idag, som troligtvis beror på den globala uppvärmningen, som smälter glaciärerna. De senaste 40 åren har den globala havsnivån stigit med 8 cm (Ekelund, 2007). Det påverkar naturligtvis även Östersjön.

Stockholm är i princip en stad byggd på vatten, med ett centralt tunnelbanesystem som mestadels är beläget under jorden och i vissa fall under vattenytan (Alfredsson et al. 2000). Staden och systemet kan därför redan idag betraktas som sårbart och frågan är ifall den globala uppvärmningen kommer att öka sårbarheten.

SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNING

Vår frågeställning i det här arbetet är: Är Stockholms tunnelbana hotad av de framtida klimatförändringarna?

Syftet med den här uppsatsen är därför att undersöka ifall Stockholms tunnelbanesystem kommer att drabbas av översvämningar på grund av ändrade förutsättningar för klimatet. Vi ska försöka svara på frågor som hur det kan drabbas, var det kan drabbas hårdast och varför

¹ Ett system var i Mälarens nollnivå ligger 384 cm under nollnivån i RH00 (Lantmäteriet, 2009a) och 348 cm under nollnivån i Rikets höjdsystem 1970, RH70 (Lantmäteriet, 2009b).

² Figur från Larsson (2009).

just där. Särskilda problem som kommer att belysas är vattenstånden i Mälaren respektive Östersjön, utifrån olika aspekter kopplade till klimatförändringarna. Om det är så att tunnelbanan är hotad, kommer Stockholms Stad att vidta åtgärder för att minimera de hoten och i så fall vilka?

METOD OCH KÄLLMATERIAL

Vårt val av undersökningsmetod har varierat beroende på i vilket sammanhang källorna har använts. För basfakta om tunnelbanesystemet och de globala klimatförändringarna har vi använt oss av trycklitteratur. I sökandet av framtidsscenarioer har det istället varit forskningsrapporter och sårbarhetsanalyser som legat till grund för det vi kommit fram till. Dem har vi hittat på internet, på respektive institutions hemsida. Vi anser att de dokument vi arbetat med är relevanta och pålitliga eftersom ingen av dem är äldre än 5 år och är utförda av statliga institutioner, SMHI och Stockholms Stad. Vår fallstudie baserade vi först och främst på en telefonintervju med ansvarig miljökonsult.

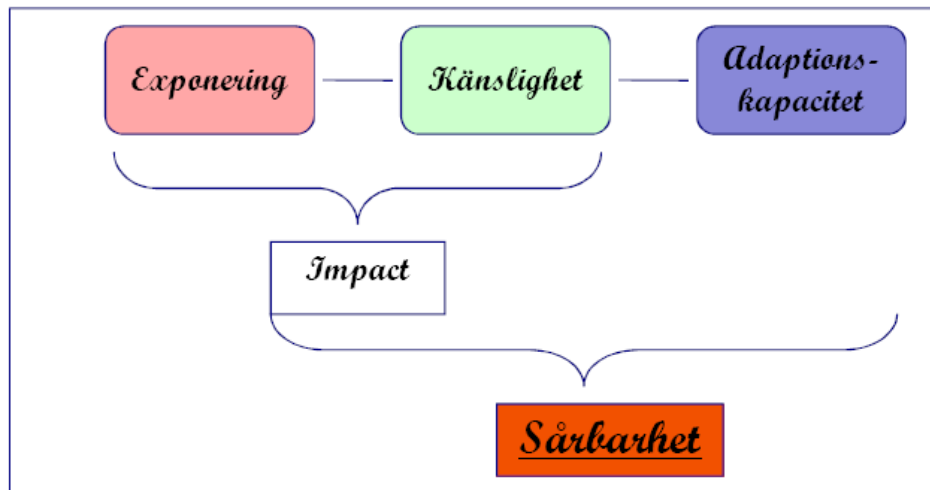
AVGRÄNSNING

Vi har valt att avgränsa vårt problemområde på en lokal skalnivå som rumsligt innefattar Stockholms stad. Faktamässigt har vi därför studerat Mälarens och Östersjöns vattenstånd utifrån historiska data. Vi har även analyserat framtidsscenarioer byggda på dessa data samt på klimatmodeller. Tidsmässigt sträcker sig dessa data från 1850 fram till år 2100. Vi valde att avgränsa oss på det här sättet eftersom det var dessa områden vi ansåg vara relevanta för att få svar på vår frågeställning. Vi skulle kunna sträcka oss längre och inkludera även Stockholms kranskommuner, men området blev för stort för att få plats på de sidor vi har till vårt förfogande. Att vi valde att fokusera på just översvämningar som en konsekvens av klimatförändringarna beror på Stockholms relativa läge mellan Mälaren och Östersjön, som vi nämnde i inledningen. Vi anser därför att översvämningar borde vara det största hotet mot Stockholm om klimatet blir varmare. Den tidsmässiga avgränsningen med ett spann om 250 år blev naturlig, då det inte finns data från varken tidigare år eller scenarier för längre fram i tiden.

När vi studerade tunnelbanesystemet gjorde vi ett urval av stationerna utifrån de tio med flest resenärer och de stationer belägna i eller i närhet av översvänningsriskområden. Den avgränsningen ansåg vi vara den mest lämpade utifrån relevans till sårbarhetstemat.

ALLMÄNT OM SÅRBARHETSTEMAT: STOCKHOLM – I ETT PERFEKT MEN UTSATT LÄGE

Vi har valt att disponera innehållet under denna rubrik efter Anders Fridfeldts modell från hans föreläsning 18/12-09 (se figur 2).



Figur 2. Modell från Anders Fridfeldts föreläsning om sårbarhetstemat

Klimatförändringar

Global uppvärmning

Förändringar i klimatet har alltid skett naturligt på jorden. De senaste två decennierna har temperaturer på land och hav varit globalt rekordvarma (Christopherson, 2009). Den globala uppvärmningen antas ske på grund av ökade utsläpp av växthusgaser orsakade av mänskliga aktiviteter. Det finns dock människor som är syniska till den teorin och påstår att uppvärmningen är en naturlig process. De flesta forskare anser ändå att tillräckligt med forskning idag har gjorts för att utsläppen ska kunna ses som huvudorsaken till ökade temperaturer. Enligt Christopherson (2009), förväntas den globala uppvärmningen påverka temperatur, nederbörd, markfuktighet och luftmassor på regionala nivåer. Den globala effekten är däremot svårare att förutspå.

Klimatmodeller

Med hjälp av klimatforskning på bland annat Rossby Centre, SMHI, framställs framtida klimatscenarier (Ekelund, 2007). Genom att använda globala klimatmodeller är det möjligt att utföra regionala studier. På Rossby Centre studeras två utsläppsscenarier i två globala modeller för att försöka förutspå Sveriges framtida klimat. Enligt Ekelunds handlingsplan Anpassning till ett förändrat klimat (2007), ger de globala klimatmodellerna olika resultat gällande Sveriges framtida nederbörd. Detta beror på modellernas skillnader i atmosfärisk cirkulation och utvecklandet av framtida lågtrycksbanor. I handlingsplanen beskrivs Sveriges framtida klimat som allt varmare och blötare. Redan vid år 2100 uppskattas Sveriges medeltemperatur ha ökat med upp till 4,5 grader.

Stockholms framtida klimat

I en utredning av Stockholms Stad (Risk och sårbarhetsutredning med anledning av klimatförändringar, 2009) fastställs ett flertal framtida förändringar i Stockholms klimat:

- Varmare, störst förändring under vintern
- Ökad nederbörd, med blötare vintrar och torrare somrar

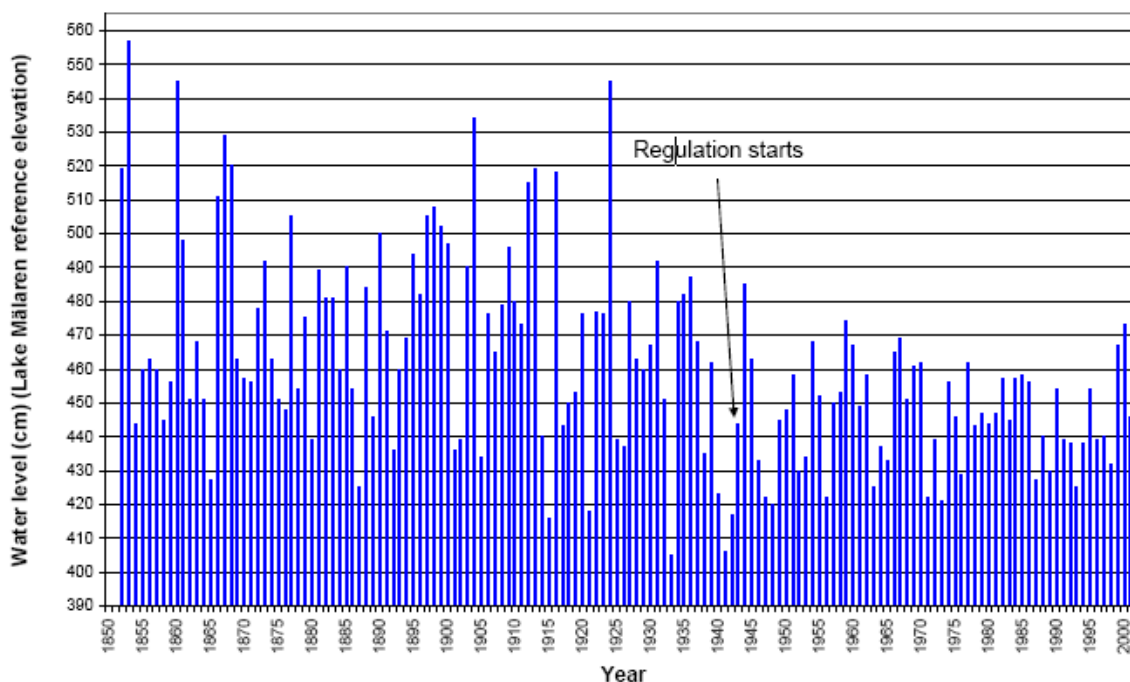
- Mindre snö och kortare snösäsong
- Kortare säsong med is på sjöar och Östersjön
- Längre växtsäsong
- Ökad översvämningrisk på grund av högre vattenstånd vintertid i Mälaren
- Lägre vattenstånd i Mälaren sommartid

Genom att studera framtida klimatscenarier för Stockholm är det även möjligt att bedöma Mälarens framtida tillstånd. Enligt Ekelund (2007) förväntas inflödet till Mälaren bli högre än det är i dagsläget. Eftersom varmare och blötare vintrar med kortvarigt snötäcke förutspås ger det en högre vintertilrinning till sjön. Under sommaren förväntas tillrinningen bli lägre eftersom avdunstningen ökar vid varmare temperaturer.

Exponering och känslighet

Stockholm är en gammal stad som grundades redan på 1200-talet. Då var en stads relativa läge om än viktigare än vad det är idag. Vattnet var den viktigaste transportleden. Den viktigaste förutsättningen för att en stad skulle kunna överleva och växa var därför att den låg i anslutning till vatten. Det var alltså inte så konstigt att Stockholm, med sitt i det avseendet perfekta läge mellan Mälaren i väst och Östersjön i Öst, snabbt kunde växa sig till Sveriges största och mäktigaste stad. Men det är inte bara fördelar med att bygga upp stora städer vid vatten. Risken för översvämningar finns alltid. Det har Stockholm fått erfara många gånger, till exempel år 1924, då hela Mälartorget i Gamla Stan översvämmades (Carlsson et al. 2006). Översvämningen orsakades av onormalt höga vattenstånd i Mälaren, 545 cm i Mälarens höjdsystem (Larsson, 2005). Därefter reglerades sjön två gånger, 1943 och 1968, för att minska de högsta vattenstånden, vilket också lyckades (Ekelund, 2007). Regleringen visade sig dock generera generellt höga vattenstånd från Mälaren eftersom den även uteslöt de lägsta vattennivåerna.

Vattenståndet i sjön har sedan dess pendlat runt ett medelvärde om 415 cm, innan nästa svåra översvämning drabbade staden år 2000. Den berodde på kraftig nederbörd som föll under sommaren och i slutet av året, mellan 60 och 90 % över den normala nederbördsmängden (Ekelund, 2006). Det var då enligt Stockholms Lokaltrafik (SL) mycket nära att vatten rann in både i tunnlarna vid Stockholms central och över kanten på stationen vid Gamla Stan. En annan plats som var nära att svämmas över var enligt Nina Ekelund på Miljöförvaltningen i Stockholm Munkbrokajen, som endast hade 6-7 cm till godo. I Stockholm är tät bebyggelse och infrastruktur på många ställen belägna på låglänta och vattennära områden. Därför löper de risk att skadas vid översvämningar (Risk- och sårbarhetsanalyser för Stockholms län, 2009). Staden breder idag ut sig över sju öar som är bebodda av nära 800 000 människor (Meier et al. 2006). 1992 föll den största mängd nederbörd i Stockholms innerstad som sedan år 1900 fallit under ett fåtal dagar, 87 mm. Enligt SMHI (Ekelund, 2006) kan liknande nederbördsmängder i framtiden komma att drabba Stockholm allt oftare.



Figur 3. Mälarens vattenstånd 1852-2002³

Dagens sammanlagda avtappningsförmåga från Mälaren är 710 m³/s, fördelat över fyra slussar (se tabell 1). Det räcker i dagsläget för att under normala väderförhållanden kunna hålla Mälarens vattenstånd under 470 cm, vilket är den högsta tillåtna nivån enligt vattendomen. Dock kan det vara otillräckligt för att förhindra översvämningar om nederbördsmängden ökar i framtiden (Larsson, 2005). Mälarens högsta tillrinning sker idag under våren, då snön smälter (Carlsson et al. 2006). Det kan dock komma att förändras om klimatet blir varmare, och största tillrinningen kommer sannolikt att ske under vintern, (se avsnitt om Stockholms framtida klimat).

Tabell 1. Egenritad tabell⁴ över Mälarens slussar och deras avtappningskapacitet

Plats	Namn	Ungefärlig kapacitet (m ³ /s)
Norrström (norr om Gamla Stan)	Riksbron	200
	Stallbron	100
Slussen (söder om Gamla Stan)	Karl-Johanslussen	260
Hammarby	Skanstull	5
	Hammarby	70
Södertälje	Maren	5
	Södertälje	70
TOTALA		710

Det pågår idag, liksom historiskt sett, en strandförskjutning där både havsytan förändras och landet höjs. Stockholmsområdet höjs i snitt 0,4 m på 100 år (Jonasson, 1996). Landhöjningen gör att havsnivån sjunker, samtidigt som vi idag ser en tydlig trend att havet expanderar till följd av klimatförändringar. Östersjön kan komma att drabbas på så sätt att färsk- och

³ Figur från Meier et al. (2006).

⁴ Med data från Meier et al. (2006).

saltvatteninflödet påverkas (Ekelund, 2007). Det kan rubba saltbalansen samtidigt som temperaturen i havet kan förändras, vilket i sin tur påverkar issäsongen. Ett projekt vid namn SEAREG utfört av SMHI visar att Östersjön kan komma att höjas med som mest med 0,5 m inom 100 år. Det ger tillsammans med landhöjningen en strandförskjutning på som mest 0,1 m på 100 år. Själva höjningen av havsyttnivån i sig kommer alltså troligtvis inte att skapa några svårare översvämningar. Men eftersom möjligheten att tappa ur Mälaren är beroende av att det finns en höjdskillnad mellan sjön och havet, där havet måste vara lägre, kommer en höjning av havsyttnivån försvåra avtappningen från Mälaren och indirekt skapa risk för översvämningar. Idag är den skillnaden ca 0,66 m (Ekelund, 2007).

Tunnelbanans utsatthet

Stockholms tunnelbanenät är 105,7 km långt och omfattar 100 stationer. Nästan hälften av dem, 47 stycken, ligger under mark (Alfredsson et al. 2000). Många av dem är dessutom belägna under havsytan. T-Centralen till exempel, som är stadens största station, har plattformar belägna 3,4 m, 8,9 m respektive 23,8 m under havet. Gamla Stans tunnelbanestation är den station som ligger närmast vattenytan med sina 2,6 m över havet, följt av Slussen som är belägen 8,0 m över havet. Vid en vattennivåhöjning i Mälaren respektive Östersjön är det därför framförallt de två förstnämnda stationerna som kan komma att drabbas av översvämningar. Eftersom Mälaren är belägen ca 0,66 m högre än havet betyder det att Gamla Stans tunnelbanestation ligger på 1,94 m över sjön⁵. Gamla Stans tunnelbanestation benämns i beräkningarna nedan endast som Gamla Stan.

Risken för översvämning i Gamla Stan vid olika vattenstånd kan ses i beräkningarna nedan: (egna beräkningar)

Mälarens medelvattennivå: 4,15 m

Maximal vattennivå enligt vattendomen: 4,70 m, vilket är 0,55 m över medelnivån

Mälarens höjd över havet vid medelvattennivån: 0,66 m

Mälarens höjd över havet vid maximal vattennivå enligt vattendomen: $0,66 \text{ m} + 0,55 \text{ m} = 1,21 \text{ m}$

Gamla Stans höjd över havet vid medelvattenstånd: 2,6 m

Gamla Stans höjd över Mälaren vid medelvattenstånd: 1,94 m

Gamla Stans höjd över havet vid maximal vattennivå enligt vattendomen: $2,6 \text{ m} - 1,21 \text{ m} = 1,39 \text{ m}$

Gamla Stans höjd över Mälaren vid maximal vattennivå enligt vattendomen: $1,39 \text{ m} - 0,66 \text{ m} = 0,73 \text{ m}$

Maximal uppmätt vattennivå i Mälaren under 1900-talet: 5,45 m, vilket är 1,30 m över medelnivån

Mälarens höjd över havet vid maxnivån: $0,66 \text{ m} + 1,30 \text{ m} = 1,96 \text{ m}$

Gamla Stans höjd över havet vid maxnivån: $2,6 \text{ m} - 1,96 \text{ m} = 0,64 \text{ m}$

Gamla Stans höjd över Mälaren vid maxnivån: $0,64 \text{ m} - 0,66 \text{ m} = -0,02 \text{ m}$

⁵ Det förekommer en del osäkerhet i höjdangivelserna vi använder oss av här, då det i våra källor inte framgår tydligt varifrån höjden är utmätt. Vi vet alltså inte med säkerhet om höjden gäller för biljettluckan, perrongen eller spåren. I det här fallet har vi dock utgått från att det gäller spåren, eftersom det ger oss den bästa överblicken över hotbilden mot hela systemet.

Enligt beräkningarna skulle Gamla Stans tunnelbanestation översvämmas om vattenståndet i Mälaren uppgår till 5,45 m. Vattennivån skulle då befinna sig 2 cm över nivån på spåren. 2 cm verkar inte så mycket i höjd, men om vi i beräkningen tar med att det är en stor area tunnelbanespar som är exponerade så torde hotbilden ses som stor.

Dessa beräkningar är alltså gjorda på antagandet att Mälarens vattenstånd skulle stiga, vilket endast skulle drabba de stationer belägna närmast havsytan, över eller under. I fall att extremväder i form av skyfall till följd av klimatförändringar skulle drabba Stockholm, skulle generellt sett alla stationer belägna under marken kunna översvämmas. Detta har redan hänt ett par gånger de senaste åren, se referat nedan. De hårdast drabbade skulle då bli de lägst belägna stationerna, eftersom vattnet skulle rinna nedåt.

Tabell 2. Egenritad tabell över Stockholms tunnelbanestationer utifrån flest resenärer⁶

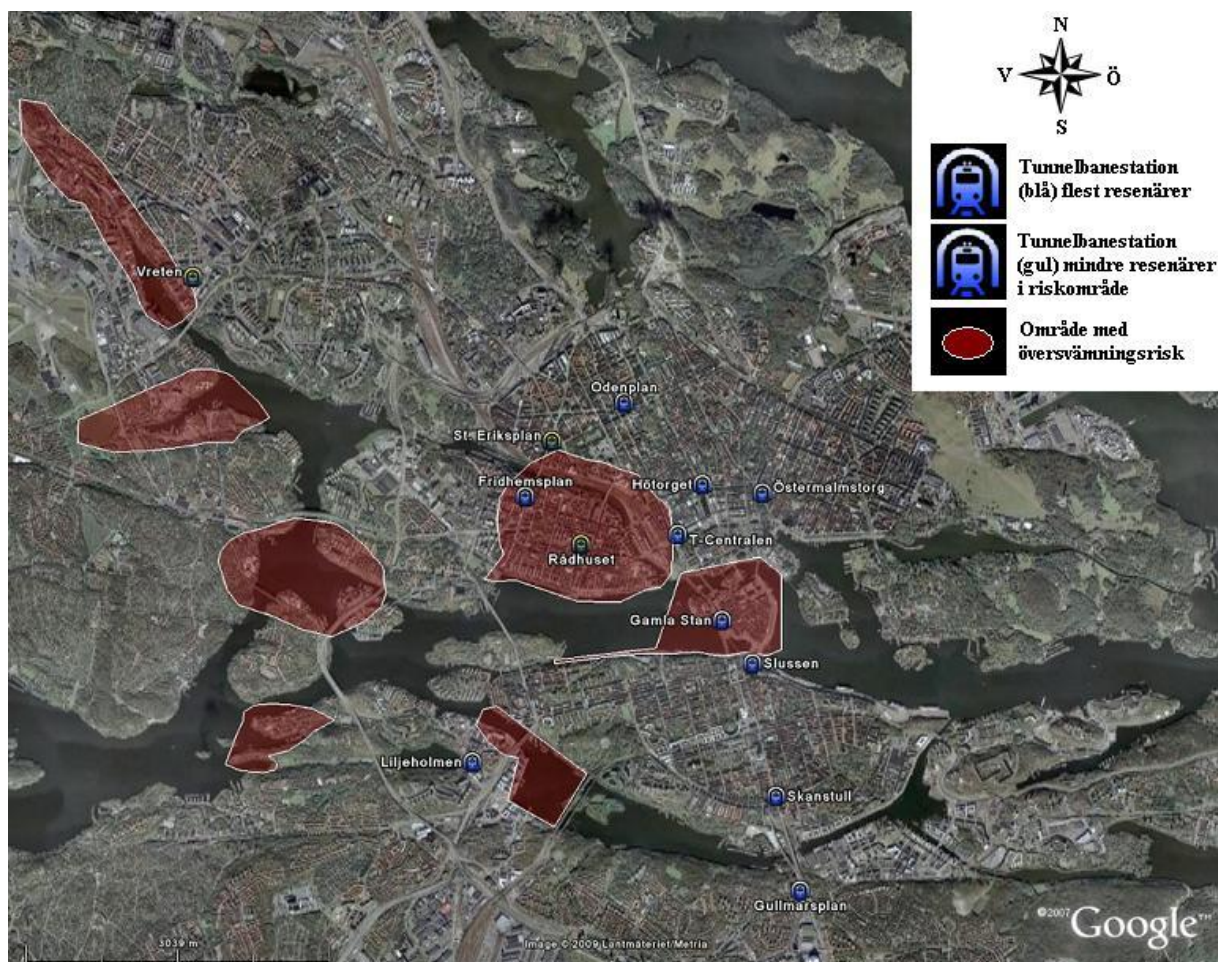
Tunnelbanestation	Resenärantal	Meter över resp. under havet	Meter under mark
T-Centralen (grön/röd linje)	161 000 (inkl. blå linje)	-3,4 resp. -8,9	19 resp. 14
T-Centralen (blå linje)		-23,8	29
Slussen	79 000	8,0	6 resp. 26
Fridhemsplan (grön linje)	52 000 (inkl. blå linje)	1,3	18
Fridhemsplan (blå linje)	-	-11,5	33
Gullmarsplan	34 000	38	-
Hötorget	32 000	3,9	10
Östermalmstorg	32 000	-23,3	38
Odenplan	24 000	14,5	9
Liljeholmen	24 000	4,6	-
Skanstull	24 000	18	5
Gamla Stan	23 000	2,6	-

Tabell 3. Egenritad tabell över Stockholms tunnelbanestationer i eller i närhet av översvämningsriskområden (se figur 4)⁷

Tunnelbanestation	Resenärantal	Meter över resp. under havet	Meter under mark
T-Centralen (grön/röd linje)	161 000 (inkl. blå linje)	-3,4 resp. -8,9	19 resp. 14
T-Centralen (blå linje)	-	-23,8	29
Slussen	79 000	8,0	6 resp. 26
Gamla Stan	23 000	2,6	-
Fridhemsplan (grön linje)	52 000 (inkl. blå linje)	1,3	18
Fridhemsplan (blå linje)	-	-11,5	33
Rådhuset	7000	-20,5	27
St. Eriksplan	19 000	8,6	8
Vreten	3000	-8,4	28

⁶ Data från Stockholm Under (Alfredsson et al. 2000)

⁷ Data från Stockholm Under (Alfredsson et al. 2000)



Figur 4. Egenrita karta över tunnelbanestationer med flest resenärer samt ytterligare tre belägna i översvämningsriskområden⁸

Adaption

Översvämmning av sjöar och vattendrag resulterar ofta i ekonomiska förluster, olika miljökonsekvenser och skador på infrastruktur. Eftersom Stockholm utvecklat en underjordisk tunnelbanetrafik, som även går under havsnivån på vissa platser (se tabeller 2 och 3), kan den vara utsatt för eventuella översvämmningar. I och med förändringar i klimatet behöver därför samhället anpassas för att minska sårbarheten (Risk- och sårbarhetsanalys för Stockholms Län, 2009). I projektet Framtidens Översvämningsrisker (2006) dras slutsatsen att översvämningsriskerna är stora på flera håll i landet och att situationen blivit sämre, då fysisk planering och utbyggnad av infrastruktur inte tagit hänsyn till dessa risker. Därför påpekar Risk- och sårbarhetsanalysen för Stockholms Län (2009) nu att fysisk planering, som till exempel att förhindra bebyggelse vid låglänta och vattennära områden, måste ta hänsyn till översvämningsriskerna. För infrastruktur och bebyggelse som redan befinner sig i översvämningshotade områden kan skadeförebyggande åtgärder appliceras som exempelvis anläggning av vallar eller föreberedelse med pumpar.

⁸ Översvämningsriskområde med data från Meier et al. (2006) och Ekelund (2007).

Utöver fysisk planering är en utökning av Mälarens avtappningskapacitet ytterligare en adaptation för att minska översvämningsrisken och tunnelbanans sårbarhet. I jämförelse med dagens avtappningskapacitet (se tabell 1) föreslår Stockholms Klimat- och sårbarhetsutredning att Slussens avtappning ska öka till cirka 700 m³/s (Risk- och sårbarhetsanalys för Stockholms Län, 2009). Fortsättningsvis föreslås en utvidgning av Södertäljes avtappning samt att en montering av erosionsskydd vid kajen i Slussen och Södertälje.

Det finns också planer på att utforma en ny vattendom för att lättare avtappa Mälaren och förhindra översvämningsrisker (Sundström, 2008). Enligt Sundströms artikel i Dagens Nyheter är domen främst till för att avtappa Mälaren vid krissituationer, som extrema skyfall eller snabb snösmältning. I artikeln meddelar Ingmarie Ahlberg från Stockholms exploateringskontor att domen ska vara klarlagd under 2010.

Uppfattning i media

Det har rapporterats om Stockholms översvämningsrisker och tidigare översvämningsrisker i olika typer av media. Dagens Nyheter (DN) har publicerat ett flertal artiklar om framtida klimatscenarier relaterat till översvämningsrisker. Den senaste artikeln angående översvämning i Stockholm är daterad till 2006. Då stod bland annat större delar av Medborgarplatsens tunnelbanestation under vatten. Öbrink (2006) på DN skriver ”Att stan är full av vatten är väl känt, men i delar av Stockholm blev det extra påtagligt på onsdagen. Gator och affärslokaler översvämmades efter kraftiga skyfall, och delar av Medborgarplatsens t-banestation stod under vatten”.



Bild 1: Stockholms gator översvämmade efter skyfall 2006. Foto: Yngve Sjöman⁹

År 2004 publicerade Anders Sundström en artikel i DN där han förklarade att ett allt varmare klimat mångdubblar risken för att Mälaren ska översvämmas. Han påpekade att det var nödvändigt att förenkla uttömningen av Mälaren för att undvika en katastrof i tunnelbanan. Sundström skrev senare en artikel om en kommande vattendom för Mälarens avtappning (se avsnittet om adaptation). På senare tid har DN även utvecklat en temasida på deras nätupplaga för klimatet där det går att komma åt relaterade nyheter angående översvämningsrisker.

⁹ Hämtad från Sundström (2006).

FALLSTUDIE: NYA SLUSSEN

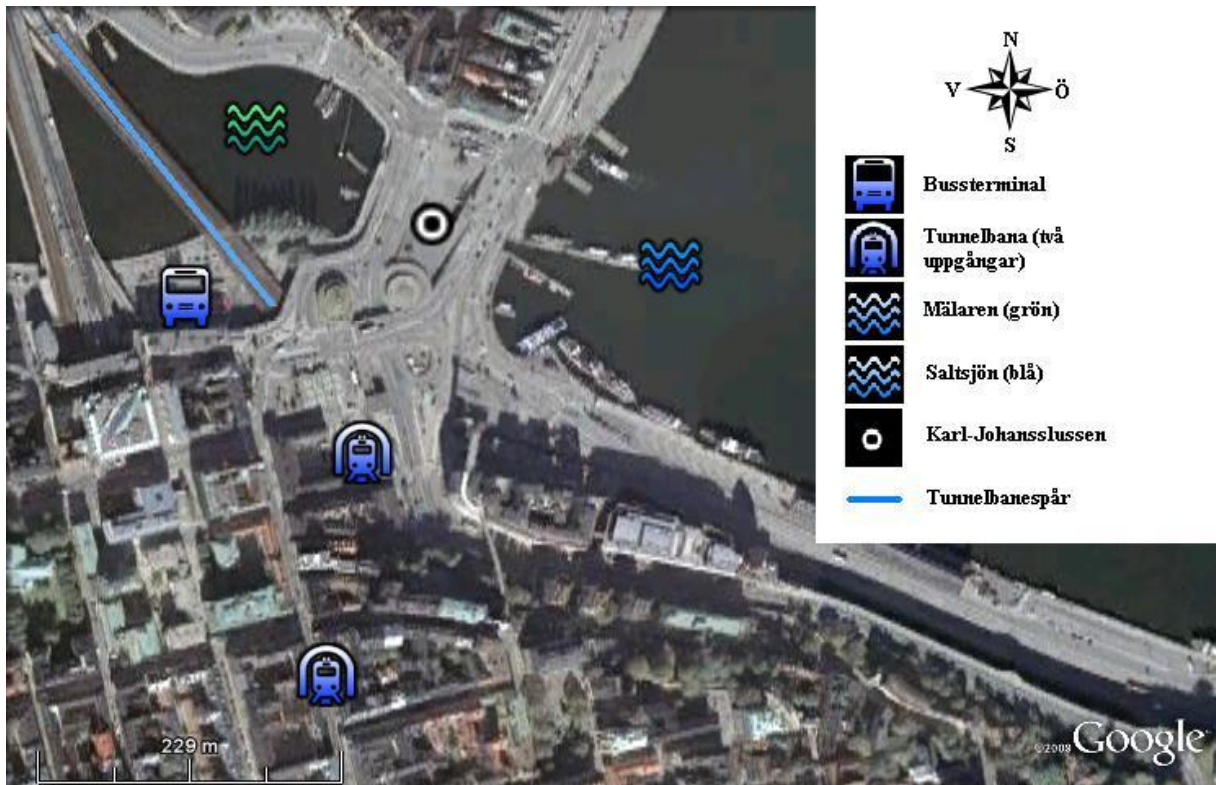
I vår fallstudie har vi valt att studera Slussen och ombyggnaden som planeras att genomföras. Diskussionerna om "Nya Slussen" har pågått länge och debatterna om de olika förslagen till ombyggnaden har varit, och är fortfarande, heta. För några år sedan utlystes en tävling om vem som kunde komma fram med det bästa förslaget på hur Slussen ska se ut och det vinnande bidraget publicerades i april i år. Det blev till slut Foster + Partners och Berg Arkitektkontor som fick se sitt förslag gå vinnande ur tävlingen (Arkitektur, 2009).

Anledningen till att vi valde det här projektet för vår fallstudie är att det inkluderar vårt sårbarhetsområde, tunnelbanan, samtidigt som det är ett framtidsprojekt. Därför borde det automatiskt inkludera det vi tidigare tagit upp, de framtida klimatförändringarna och risken för översvämningar. Vi ställer oss därför frågan om det är så; kommer hänsyn att tas till detta när Slussens byggs om, och i så fall, hur?

Områdesbeskrivning

Slussen är ett område beläget mellan norra Södermalm och Gamla Stan i Stockholm. Platsens relevanta läge med Mälaren i väst och Saltsjön i öst har varit betydelsefull för Stockholm under en längre tid. Slussen är idag en central punkt för Stockholms invånare med busscentral och en tunnelbanestation som besöks dagligen av 79 000 resenärer (Alfredsson et al. 2000). Själva tunnelbanestationen invigdes 1950, medan Slussenområdet som helhet byggdes redan 1935 (Sörensson et al. 2004). Dagligen passerar ca 45 000 bilar området (Schröder, 2009), vilket sliter på den gamla konstruktionen.

Området vi har valt att studera innefattar alltså hela Slussenområdet, med mest fokus på tunnelbanestationen och slussportarna, som är de relevanta delarna för vårt sårbarhetstema.



Figur 5. Egenritad karta över Slussenområdet

Problembeskrivning

Största anledningen till ombyggnationen är enligt Stockholms Stad att konstruktionen håller på att vittra sönder och är i stort behov av renovering (Mer om Slussens reparationsbehov, 2009). Enligt Monica Garberg, kontaktperson och miljöansvarig på Structor som håller i ombyggnationen, är den andra stora anledningen att dagens avtappningskapacitet genom Karl Johanslussen är alldeles för liten (muntlig uppgift, 2010). Kapaciteten ligger idag på cirka 270 m³/s, men den behöver öka till 1500 m³/s enligt Garberg. Med dagens reglering, det som kallas för normaldrift, kommer Mälarens vattenstånd att stiga till 5,15 m vid ett 100-årsflöde. Det skulle kunna leda till att vatten rinner in i ett flertal tunnelbanestationer inklusive Slussen. Stationen är belägen 8 m över havet, men är nedgrävd 6-26 m under marken, beroende var längs stationen mätningen sker (Alfredsson et al. 2000). (Tillståndsbedömning av Slussen, 1999).

Åtgärder

För att minska framtida översvämningsrisker kommer ombyggnaden av Slussen även att innebära en kraftig förbättring av avtappningskapaciteten genom Karl Johanslussen (Garberg, 2010, muntlig källa). Den kommer att ökas med cirka 1200 m³/s, vilket ger en total kapacitet på 1500 m³/s. Detta är möjligt tack vare att ombyggnaden kommer ge utrymme för bredare kanaler, som kan släppa igenom mera vatten. Den sammanlagda kapaciteten för hela Mälaren kommer öka från dagens 700-800 m³/s till 2000 m³/s. Det kommer enligt Garberg med största sannolikhet säkra Slussens och övriga tunnelbanesystemets framtid vad gäller översvämningsrisken, och inga vidare åtgärder ska behöva vidtas när Slussens ombyggnad väl är klar. Hela projektet ska påbörjas år 2012 och väntas vara klart år 2018.

Enligt SL är översvämningsriskerna mot Slussen överdrivna (Slussen – Nedgrävning av tunnelbanan, 2009). De anser att vattenståndet i Mälaren utan problem kan stiga 20 cm över den nivå den nådde år 2000, men ifall den stiger mer än så blir de tvungna att stänga av trafiken. Det finns god beredskap mot eventuella översvämningar och inte några egentliga svårigheter att förhindra att vatten från skyfall ska nå in till spåranläggningarna, menar de.

Resultat

När vi först studerade tryckt material över projektet och den handlingsplan som gjorts över Nya Slussen, fick vi intrycket att det inte alls skulle tas någon hänsyn till framtida klimatförändringar och översvämningsrisker. Det nämndes överhuvudtaget inte i projektplanen, utan där låg fokus endast på att renovera den slitna betongkonstruktionen och skapa en vacker och praktisk miljö att vistas i (Foster+ Partners och Berg, 2009). När vi sedan tog kontakt med Monica Garberg, kontaktperson och ansvarig för projektet på Structor, gav hon oss en bild som visade att fokus visst kommer att ligga vid de frågorna. Översvämningsriskerna runt Slussen har högsta prioritet tillsammans med själva renoveringen, och mycket pengar kommer att läggas ner på att öka avtappningskapaciteten genom slussporten för att minimera riskerna för översvämning.



Bild 2: Illustration över nya Slussen¹⁰

ANALYS

Klimatförändringarna som pågår idag är en global process. Vad vi har kommit fram till är att globala processer kan få konsekvenser på lokal nivå. Inom vårt sårbarhetsområde är det

¹⁰ Hämtad från Nya Slussen (Stockholms Stad, 2009).

främst Mälarens vattenstånd som kommer påverkas. Där kan vi se en vattennivåhöjning till följd av ökad nederbörd och högre temperaturer. Östersjön verkar dock inte drabbas lika hårt beroende på att landhöjningen i Stockholmsområdet är så påtaglig. Å andra sidan är de globala konsekvenserna av klimatförändringar svåra att förutspå och ifall glaciärisarna kommer smälta snabbare än vad de gör idag kan det leda till en kraftigare havsnivåhöjning.

Frågan är om Stockholms tunnelbana är hotad av detta? Det finns inget enkelt eller konkret svar på frågan utan många aspekter måste tas in. Den främsta är hur stora effekterna av klimatförändringarna blir. Å ena sidan är vissa tunnelbanestationer som till exempel Gamla Stan rent fysiskt sårbara på grund av stationens relativa läge. Å andra sidan finns stationer där antalet resenärer är så pass högt att de måste räknas som sårbara om de utsätts för en översvämningssituation. Den sistnämnda hamnar då endast i den situationen ifall nederbördsmängden ökar vid extrema skyfall som leder till att vatten rinner in i tunnelbanan. Det finns således två förhållanden att beakta. I dagsläget är det endast vattenståndet i Mälaren som går att kontrollera med hjälp av avtappning genom slussarna. Stockholms Stad är medveten om att avtappningskapaciteten genom dem måste öka och stora åtgärder pågår. Ett exempel är ombyggnaden av Slussen, som vi visat i vår fallstudie. Å andra sidan om extrema skyfall plötsligt inträffar så finns det i dagens läge inte mycket att göra. För att förebygga en sådan situation skulle trösklar behöva byggas vid ingångarna till de utsatta stationerna, men det är ändå ingen hundra procentig gartering.

Gamla Stans tunnelbanestation skulle vid höga vattenflöden svämmas över först, eftersom den ligger närmast över vattenytan. När det väl läcker in där kommer vattnet att rinna ned mot T-Centralen, som ligger på lägre höjd. Blir översvämningarna ett faktum får det svåra konsekvenser, dels för tunnelbanan i sig och dels för Stockholms stad. Vattnet i sig kan skada spår, vagnar och interiör. Trafiken kommer bli stående och det leder till konsekvenser för hela samhället då människor får problem att ta sig till sina arbeten. De ekonomiska förlusterna blir markanta. Dels i form av att tunnelbanetrafiken måste ersättas med andra färdmedel, dels i form av reparationskostnader och sist men inte minst en följd av att människor får problem att ta sig till jobbet.

Som tidigare nämnts kan globala processer få lokala konsekvenser. Men lokala processer kan även få regionala konsekvenser, både positiva och negativa. Vi ser tydliga beroendeförhållanden mellan vår region och dess omgivning. Ombyggnaden av Slussen är ett exempel på en lokal åtgärd som får positiva konsekvenser i ett större område. Den ökade avtappningen genom slussporten i centrala Stockholm gör att översvämningssrisken minskar i hela Mälardalen. Å andra sidan kan en ökad avtappning resultera i erosionsskador vid slussområdena. Efter vad vi har kommit fram till i det här arbetet är dock översvämningssrisken så pass överhängande att en ökning av avtappningskapaciteten är ett måste. Erosionsskador kan förebyggas med erosionsskydd, något det redan finns planer på att anlägga (se avsnitt om adaption).

SLUTSATSER

Största hotet i dagens läge är inte en långsam höjning av Mälarens vattenstånd, utan istället extrema skyfall som kan översvämma gator och torg och därför rinna in i tunnelbanan. Stationer som är högt belägna ovan havsnivån och över mark löper ingen eller minimal risk att översvämmas. De som är belägna under markytan kan med stor sannolikhet bli översvämmade vid kraftiga skyfall, om inga skyddsvallar byggs vid ingångarna. Situationen

har redan inträffat tidigare vid ett antal stationer och risken att det ska hända igen ökar i och med att klimatförändringarna tar fart. Högre vattenstånd i Mälaren och Östersjön kommer inte att skapa några problem för tunnelbanan efter år 2018 om allt går som planerat med ombyggnaden av Slussen. Skulle en vattennivåhöjning ske innan dess är det främst Gamla Stans tunnelbanestation som är i riskzonen för översvämning. Men rinner vattnet in vid spåren där kan det få svåra konsekvenser för större delar av systemet, som beskrivits i analysen.

KÄLLFÖRTECKNING

Litteraturlista

Alfredsson, Björn, Berndt, Roland och Harlén, Hans, 2000: *Stockholm Under*. Brombergs Bokförlag AB.

Arkitektur, 2009: Slussen i fokus. Nummer 5, September. Årgång 109, s.50.

Christopherson, Robert W., 2009: *Geosystems: An Introduction to Physical Geography*. Pearson Education Inc.

Jonasson, Christer, 1996: *Sveriges geografi*, Sveriges Nationalatlas. SNA.

Sörensson, Ulf (red.), 2004: *Slussen – vid Söderström*. Samfundet S:t Erik, Stockholm.

Internet

Burghauser, Andreas, Frumerie, Mårten och Schröder, Martin, 2009: *Slussen – Nedgrävning av tunnelbanan*, Stockholms Stad. (7.1.2010.)

http://www.stockholm.se/PageFiles/63913/Slussen_Tj%c3%a4nsteutl%c3%a5ande_Maj09_Bilaga%20%20Nedgr%c3%a4vning.pdf

Carlsson, Bengt, Bergström, Sten, Andréasson, Johan och Hellström, Sara-Sofia, 2006: *Framtidens översvänningsrisker*. SMHI Reports Hydrology No 19, SMHI. (4.1.2010.)

<http://www.smhi.se/publikationer/framtidens-oversvanningsrisker-1.6758>

Ekelund, Nina, 2006: *Klimatanpassning av Stockholms stad*, Miljöförvaltningen Stockholms Stad. (4.1.2010.)

<http://www.stockholm.se/Global/Stads%c3%b6vergripande%20%c3%a4mnen/Klimat%20%26%20Milj%c3%b6/Klimat/Om%20stadens%20klimatarbete/Klimatanpassning/PM%20om%20Stockholms%20stads%20klimatanpassningsarbete.pdf>

Ekelund, Nina, 2007: *Anpassning till ett förändrat klimat*, Miljöförvaltningen Stockholms Stad. (4.1.2010.)

<http://www.stockholm.se/Global/Stads%C3%B6vergripande%20%C3%A4mnen/Klimat%20&%20Milj%C3%B6/Klimat/Rapporter/Klimatanpassning.pdf>

Foster+ Partners och Berg, 2009: *Utvalt arkitektförslag*. (7.1.2010.)

<http://stockholm.se/Fristaende-webbplatser/Fackforvaltningssajter/Exploateringskontoret/Ovriga-byggprojekt-i-innerstaden/Slussen/Fem-arkitektforslag/>

Lantmäteriet, 2009: Höjdsystem – RH00. (4.1.2010.)

http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=10596

Lantmäteriet, 2009: Höjdsystem – RH70. (4.1.2010.)

http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=10600

Larsson, Karin, 2005: *Mälarens vattennivå i ett framtida klimat*. Uppsala Universitet, Institutionen för geovetenskaper. (4.1.2010.)

<http://www.smhi.se/sgn0106/if/rc/documents/KLexjobb.pdf>

Länsstyrelsen i Stockholms län 2009: *Risk- och sårbarhetsanalyser för Stockholms län* (4.1.2010.) http://www.ab.lst.se/upload/dokument/raddning_och_sakerhet/RSA_2008_29.pdf

Meier, H.E. Markus, Andréasson, Johan, Broman, Barry, Graham, L. Phil, Kjellström, Erik, Persson, Gunn och Viehhauser, Michael, 2006: *Climate change scenario simulations of wind, sea level, and river discharge in the Baltic Sea and Lake Mälaren region – a dynamical downscaling approach from global to local scales*. SMHI Reports Meteorology and Climatology No.109, SMHI. (4.1.2010.)

<http://www.smhi.se/publikationer/climate-change-scenario-simulations-of-wind-sea-level-and-river-discharge-in-the-baltic-sea-and-lake-malaren-region-a-dynamical-downscaling-approach-from-global-to-local-scales-1.2101>

Stockholms Stad, 2009: *Mer om Slussens reparationsbehov*. (7.1.2010.)

<http://www.stockholm.se/Fristaende-webbplatser/Fackforvaltningssajter/Exploateringskontoret/Ovriga-byggprojekt-i-innerstaden/Slussen/Bakgrund/Status--Skick/>

Stockholms Stad 2009: *Risk och sårbarhetsutredning med anledning av klimatförändringar*. (27.12.2009.) <http://svt.se/content/1/c8/01/81/08/75/StockholmsKlimatABC.pdf>

Sundström, Anders, 2008: ”Nya vattendomen ska hindra översvämning”, *Dagens Nyheter*. (4.1.2010.) <http://www.dn.se/sthlm/nya-vattendomen-ska-hindra-oversvamning-1.691458>

Sundström, Anders, 2004: ”Skyfall kan fylla Gamla stans t-bana”, *Dagens Nyheter*. (4.1.2010.) <http://www.dn.se/sthlm/skyfall-kan-fylla-gamla-stans-t-bana-1.331502>

Öbrink, Anders, 2006: ”Översvämningar i Stockholm”, *Dagens Nyheter*. (4.1.2010.) <http://www.dn.se/sthlm/oversvamningar-i-stockholm-1.576275>

Muntlig källa

Garberg, Monica, 2010: (muntlig information, 7. 1. 2010.) Telefonintervju.

Figurer och tabeller

Figur 1: Larsson, Karin, 2005: *Mälarens vattennivå i ett framtida klimat*. Uppsala Universitet, Institutionen för geovetenskaper.

Figur 2: Fridfeldt, Anders, 2009: *Föreläsning 18/12-09*.

Figur 3: Meier, H.E. Markus et al. 2006: *Climate change scenario simulations of wind, sea level, and river discharge in the Baltic Sea and Lake Mälaren region – a dynamical*

downscaling approach from global to local scales. SMHI Reports Meteorology and Climatology No.109, SMHI. (4.1.2010.)

<http://www.smhi.se/publikationer/climate-change-scenario-simulations-of-wind-sea-level-and-river-discharge-in-the-baltic-sea-and-lake-malaren-region-a-dynamical-downscaling-approach-from-global-to-local-scales-1.2101>

Figur 4: Egenritad karta med data från Meier, H.E. Markus et al. 2006: *Climate change scenario simulations of wind, sea level, and river discharge in the Baltic Sea and Lake Mälaren region – a dynamical downscaling approach from global to local scales*. SMHI Reports Meteorology and Climatology No.109, SMHI. (4.1.2010.)

<http://www.smhi.se/publikationer/climate-change-scenario-simulations-of-wind-sea-level-and-river-discharge-in-the-baltic-sea-and-lake-malaren-region-a-dynamical-downscaling-approach-from-global-to-local-scales-1.2101>

Figur 5: Egenritad karta.

Tabell 1: Egenritad tabell med data från Meier, H.E. Markus et al. 2006: *Climate change scenario simulations of wind, sea level, and river discharge in the Baltic Sea and Lake Mälaren region – a dynamical downscaling approach from global to local scales*. SMHI Reports Meteorology and Climatology No.109, SMHI. (4.1.2010.)

<http://www.smhi.se/publikationer/climate-change-scenario-simulations-of-wind-sea-level-and-river-discharge-in-the-baltic-sea-and-lake-malaren-region-a-dynamical-downscaling-approach-from-global-to-local-scales-1.2101>

Tabell 2: Egenritad tabell med data från Alfredsson, Björn et al. 2000: *Stockholm Under*. Brombergs Bokförlag AB.

Tabell 3: Egenritad tabell med data från Alfredsson, Björn et al. 2000: *Stockholm Under*. Brombergs Bokförlag AB.

Bilder

Försättsblad (foto): Ekelund, Nina, 2006: *Klimatanpassning av Stockholms stad*, Miljöförvaltningen Stockholms Stad. (4.1.2010.)

<http://www.stockholm.se/Global/Stads%c3%b6vergripande%20%c3%a4mnen/Klimat%20%26%20Milj%c3%b6/Klimat/Om%20stadens%20klimatarbete/Klimatanpassning/PM%20om%20Stockholms%20stads%20klimatanpassningsarbete.pdf>

Bild 1: Yngve Sjöman (4.1.2010) <http://www.dn.se/sthlm/oversvamningar-i-stockholm-1.576275>

Bild 2: *Nya Slussen*, Stockholms Stad 2009.

<http://www.stockholm.se/Fristaende-webbplatser/Fackforvaltningssajter/Exploateringskontoret/Ovriga-byggprojekt-i-innerstaden/Slussen/Fem-arkitektforslag/>