

Klimatförändringarnas inverkan på dimensionerande grundvattennivå

- vid Södertunneln, Helsingborg



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för byggvetenskaper

Examensarbete:
Martin Hjelmér
Jalmar Sternheden

© Copyright Martin Hjelmér, Jalmar Sternheden

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2008

Beteckningar

- K = Hydraulisk konduktivitet [m/s]
 - S = magasinkoefficient [%]
 - T = transmissivitet [m^2/s]
 - $B(t)$ = proportionalitetsfaktor
 - $H_x = y(x)$ = grundvattenförändringen x meter in från kajkant [m]
 - $H_0 = y_0$ = amplituden på havsnivåerna [m]
 - A_{tot} = totala avdunstningen [mm]
 - T = dagnummer på året
 - A = amplituden [m]
 - C_E = avdunstningsparameter [$mm\ d^{-1}\ ^\circ C^{-1}$]
 - F = den kraft som en kropp påverkas av [N]
 - V = kroppens volym [m^3]
 - HHW_{Dim} = dimensionerande vattennivå
 - MW = medelvattennivå
 - HHW = högsta högvattennivå
 - C = en konstant beroende på vad det är för jordart
 - D_{10} = den effektiva kornstorleken (läses ut ur en siktkurva)
 - I = regnmängd
 - E = avdunstning
 - R = perkolations
 - T = årsmedeltemperaturen [$^\circ C$]
-
- x = antal meter in från kajkant [m]
 - $t_0 = t$ = tiden mellan extremerna [s]
 - d = grundvattenytans medelhöjd [m]
 - g = tyngdaccelerationen = $9,81$ [m/s^2]
-
- Ψ = fasförskjutning [dagar]
 - μ = densiteten på fluiden [kg/m^3]
 - γ = säkerhetsklass

Sammanfattning

Klimatförändringarnas inverkan på dimensionerande grundvattennivå

Helsingborgs stad har för avsikt att bygga en tågtunnel i södergående riktning från Knutpunkten. I denna rapport undersöks de hydrogeologiska aspekterna för projektet.

De frågeställningar som besvaras är:

1. Vilka parametrar påverkar grundvattennivån?
2. Hur kan dessa parametrar komma att förändras om 100 år med avseende på klimatförändringarna och vad får det för följd på grundvattennivån om 100 år?

Enligt SMHI:s klimatanalys kan klimatet förändras med ökade regnmängder, temperaturer och havsnivåer. Dessa parametrar är avgörande för grundvattenbildning.

Information om hur regnmängderna, temperaturerna och havsnivåerna i Helsingborg har tagits fram från SMHI, Helsingborgs Hamn AB och VA-verket. Denna information har tagits fram för att göra en bedömning av hur grundvattensituationen ser ut. Resultaten från SMHI:s klimatanalys har använts för att beräkna grundvattensituationen om 100 år.

I denna rapport har hänsyn tagits till den lokala situationen och grundvattenbildningen. Grundvattenbildningen kan häri indelas i två huvuddelar; regnmängdernas och havsnivåns påverkan.

Angående regnmängderna inriktas denna rapport på infiltrerbar mängd vatten och hur den kan komma att förändras. Slutsatsen är att den ökade temperaturen gör att avdunstningen ökar vilket leder till att infiltrerbar mängd vatten minskar.

Havsnivåns höjning kommer att leda till lika stor höjning på grundvattennivån på grund av att området är kustnära och förändringarna sker under lång tid.

Kortsiktigt kan en grundvattennivå i slutna akviferer höjas med 1,7 m vid en punkt 100 m från havet och i öppna akviferer 0,55 m vid det aktuella området.

Nyckelord: grundvatten, nederbörd, havsnivå, avdunstning

Abstract

The climate changes influence on design groundwater level

Helsingborg has the intention to build a train tunnel south of Knutpunkten. This report investigates the hydro geological aspects of the project.

Questions at issue that will be answered:

1. Which parameters affect the groundwater level?
2. How will these parameters change within 100 years considering climate changes and what will be the consequences on the groundwater level.

According to SMHI climate analysis the climate can change causing increasing precipitation, temperature, and a rising sea level. These parameters are decisive for forming groundwater.

Information about precipitation, temperature, and sea level in Helsingborg has been received from SMHI, Port Helsingborg and Helsingborg water/sewer plant. This information is used to make an estimation of the current groundwater situation. The results from SMHI climate analysis have been used to calculate the groundwater situation in 100 years.

This report considers the local situation and groundwater forming. Groundwater forming can be divided in to two parts, the influence of precipitation and sea level influence.

Keywords: groundwater, rainfall, sea level, evaporation

Förord

Detta examensarbete är gjord inom Lunds Tekniska Högskola (LTH) vid Lunds Universitet. Examensarbetet är utfört i samarbete med geoteknikavdelningen på Tyréns AB i Helsingborg.

Vi vill främst tacka våra handledare vid Tyréns AB Bertil Sundlöf och Mats Svensson. Ett särskilt tack riktas även till Henrik Möller (Tyréns AB), Arne Jensen (Helsingborgs Hamn AB) och Lars Stefansson (VA-verket i Helsingborg).

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
2 Syfte och mål	2
3 Bakgrund till projektet	3
3.1 Södertunneln	3
3.2 Tågaborgstunneln	3
3.3 HH-tunneln	4
4 Nulägesbeskrivningar	5
4.1 Järnväg	5
4.2 Topografi	5
5 Förutsättningar	7
5.1 Vattnets kretslopp	7
5.2 Jordzoner	7
5.3 Jordartsmodell	8
5.4 Porositet	8
5.5 Hydraulisk konduktivitet	8
5.6 Akvifer	8
5.7 Magasinkoefficient	9
5.8 Transmissivitet	9
5.9 Havsvattennivåns inverkan på grundvattennivån	10
5.10 Nederbördsinfiltrationens inverkan på grundvattennivån	12
5.11 Grundvattnets hydrauliska påverkan på konstruktioner ...	13
5.11.1 Arkimedes princip	13
5.11.2 komplikationer	14
5.12 Säkerhet mot uppflytning	14
5.13 Södertunnelns konstruktion	15
6 Klimat	16
6.1 Klimat idag	16
6.1.1 Nederbörd	16
6.1.2 Extremnederbörd	17
6.1.3 Havsnivå	17
6.1.4 Temperatur	19
6.2 Hur klimatet förväntas förändras	19
6.2.1 Nederbörd	20
6.2.2 Extremnederbörd	21
6.2.3 Havsnivå	22
6.2.4 Temperatur	22
7 Beräkningar och resultat	23
7.1 Regnmängd	23

7.1.1 Beräkningar för dagens situation	25
7.1.2 Beräkningar om 100 år	26
7.2 Extremnederbörd	26
7.3 Havsvattennivå.....	26
7.4 Standardavvikelse för havsvattennivån.....	27
7.5 Vägverkets beräkningsmodell mot uppflytning	28
7.6 Korttidseffekter på grundvattnet vid havsvattenförändringar	28
7.6.1 Slutna akviferer	28
7.6.2 Öppna akviferer	29
7.7 Långtidseffekter på grundvattnet vid havsvattenförändringar	31
7.8 Jordartsmodell för södertunneln.....	31
8 Diskussion	32
8.1 Regnmängder	32
8.2 Havsnivån	32
8.3 Sammanställt resultat.....	33
8.4 Jämförelse med Citytunneln Malmö.....	33
9 Slutsatser	34
9.1 Regnmängder	34
9.2 Havsvattennivå.....	34
9.3 Dimensionerande grundvattennivå	34
Referenser	35
Bilagor	39

1 Inledning

I detta examensarbete vid Lunds Tekniska Högskola undersöks hur de framtida klimatförändringarna ökade regnmängder och havsnivåer kommer att påverka dimensionerande grundvattennivå vid byggnation.

Nedan följer en sammanfattning av innehållet i de olika kapitlen.

Kapitel 1 innehåller en kortfattad inledning.

Kapitel 2 beskriver syftet och målet med uppsatsen och frågeställningarna preciseras.

Kapitel 3 går igenom bakgrund och beskrivning till projektet

Kapitel 4 beskriver förhållanden samt nulägesbeskrivningar.

Kapitel 5 berör grunderna i hydrogeologi. I kapitlet förklaras även de två modeller (nederbörden och havsvattnets inverkan på grundvattennivån) som huvudsakligen har använts.

Kapitel 6 beskriver klimatet i Sverige och Helsingborg. Eftersom uppsatsen inriktar sig på en järnvägstunnel som ska dimensioneras för en livslängd på 100 år undersöks hur klimatet, både nu och om 100 år, kan förändras. Data är insamlad från Helsingborgs hamn, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) och VA-verket.

Kapitel 7 beskriver arbetsmetoder och lösningar. Här utförs även nödvändiga beräkningar.

Kapitel 8 redovisar arbetets resultat.

2 Syfte och mål

Denna rapport syftar till att ta fram en dimensionerande grundvattennivå som skall kunna nyttjas vid projektering av Södertunneln vid ett 100 års perspektiv.

Vid projektering av tunnelkonstruktioner är den dimensionerande grundvattennivån avgörande för hur förankringen skall utföras. En hög dimensionerande grundvattennivå gör att kostnaderna för projektet ökar. En för låg dimensionerande grundvattennivå kan däremot få katastrofala följder såsom översvämningar, sprickbildning och ras.

Framtagen dimensionerande grundvattennivå skall inkludera rimliga säkerhetsmarginaler för framtida klimatpåverkan.

De frågeställningar som diskuteras är:

1. Vilka parametrar påverkar grundvattennivån?
2. Hur kan dessa parametrar komma att förändras om 100 år med avseende på klimatförändringarna, och hur det påverkar grundvattennivån om 100 år?

Huvudmålet är att undersöka hur tillgängliga prognoser, från bland annat SMHI, avseende ökade regnmängder [2], ökade havsnivåer [10] och ökade temperaturer [3] kommer att påverka grundvattennivåns dimensionerande värde i projekt Södertunnel.

Ett delmål är att ta fram aktuella värden för högsta högvattennivå som ska användas för dimensionering av grundvattennivå för det aktuella området.

3 Bakgrund till projektet

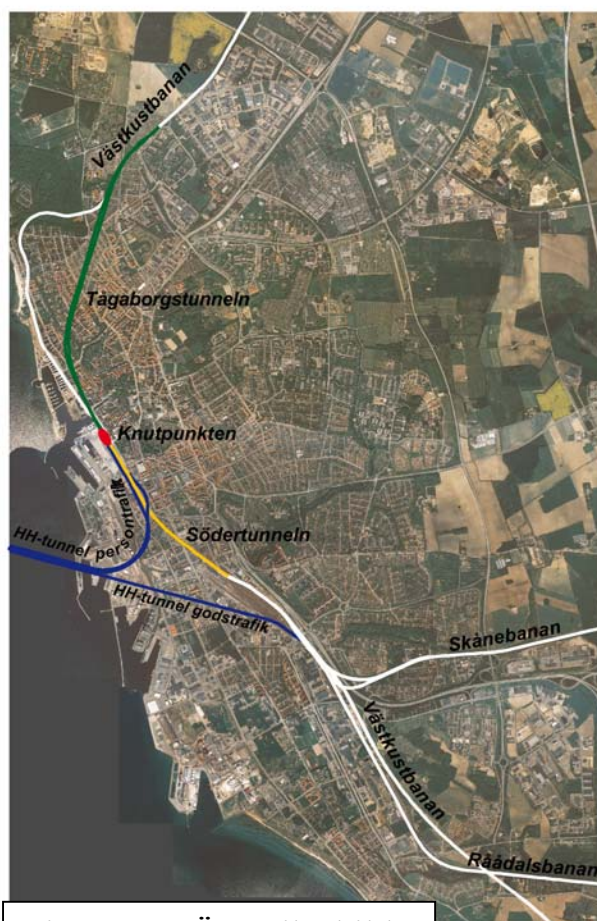
Tre järnvägstunnelprojekt befinner sig för närvarande i olika planeringsfaser i Helsingborg; Södertunneln, Tågaborgstunneln och HH-tunneln. Denna uppsats inriktar sig på Södertunneln.

Helsingborgs stad genomförde 2001-2002 en förstudie för en järnvägstunnel från Helsingborgs centralstation (här kallad Knutpunkten) söderut mot Ramlösa station. Förstudiens slutsats var att om projektet genomfördes skulle det leda till: ”betydande samhällsekonomiska vinster i allmänhet och för Helsingborgs stad i synnerhet”. [1]

3.1 Södertunneln

De centrala stadsdelarna i södra Helsingborg ligger idag avskilt från kusten p.g.a. järnvägsspår. Genom att förlägga järnvägen från Knutpunkten söderut i en tunnel kommer hamnen att knytas samman med söders centrum.

Utvecklingspotentialen kommer att bli stor och stora byggytor och en ungefärlig våningsyta på 800 000 m² kommer att göras tillgänglig för exploatering. Tunneln i sig kommer att bli ca: 1330 m lång och gå från Knutpunkten till Östra Sandgatan enligt figur 3.1. Samtidigt kommer Knutpunkten att byggas om med en entré i sin södra del. Det undersöks också för närvarande om det är lönsamt med fler spår till Knutpunkten söderifrån. Marken som frigörs kommer att säljas och vinsten från detta är tänkt att finansiera en stor del av projektet, då Banverket inte är medfinansier. [a]



Figur 3.1 - Översiktsbild

3.2 Tågaborgstunneln

Norrut från Knutpunkten till Maria Station består järnvägen idag av enkelspår. Bansträckningen går för närvarande en omväg genom norra Helsingborg.

Denna flaskhals på Väst kustbanan kan elimineras med hjälp av att borra en ny tunnel i rakare sträckning med dubbelspår mellan Maria station och Knutpunkten.

3.3 HH-tunneln

I ett senare skede, om ca: 10-20 år, planeras en tågtunnel mellan Helsingborg och Helsingör för gods- och persontrafik. För att slippa stora extrakostnader och årslånga trafikavbrott senare, planerar man redan i projektet Södertunneln att bygga påfartsramperna till denna tunnel från Knutpunkten. [1]

4 Nulägesbeskrivningar

4.1 Järnväg

Helsingborg är en expansiv kommun i södra Sverige. Som hamnstad vid den smalaste passagen in i Östersjön mellan Sverige och Danmark passerar fartyg Öresund varje dag.

Västkustbanan är en järnvägsförbindelse mellan Göteborg och Lund, i förlängningen mellan Oslo och Köpenhamn se figur 4.2. Västkustbanan ingår i EU's projekt "nordiska triangeln", TEN-T nr. 12. Banan är idag mestadels dubbelspårig men några flaskhalsar finns fortfarande kvar, bland annat norr om Knutpunkten i Helsingborg samt Hallandsås.

Söder om Knutpunkten finns idag bostadsområden på östra sidan om Västkustbanan och industriområde på den kustnära västra sidan se figur 4.1.



Figur 4.1 – Helsingborg centrum

Det är Helsingborgs stads önskemål att använda denna attraktiva, kustnära mark till bostadsområden. För att genomföra detta och underlätta integreringen av bostadsområdet måste den del av västkustbanan som går söderut från Knutpunkten förläggas i en tunnel.

Järnvägen i sig är dubbelspårig och det finns en bangård strax före tågens nerfart till Knutpunkten.

4.2 Topografi

Området där tunneln väntas byggas, ligger i centrala Helsingborg och är omgivet av hårdgjorda ytor. I viss mån finns det parker och villaområden där infiltration kan ske. Öster om Helsingborg ligger Långeberga och Vasatorp (se figur 4.1) vilka består av åkermark, soptipp och golfbana. Dessa områden kan betraktas som tillrinningszoner där infiltration och grundvattenbildning kan ske. Området ligger 3-5 km från det aktuella tunnelprojektet i en topografi

som sluttar kraftigt mot havet. Avrinningsområdet i söder är Råån och havet i väster.



Figur 4.2 – Västkustbanan från banverket

5 Förutsättningar

I detta kapitel beskrivs hydrogeologiska och andra förutsättningar som är relevanta för projektet.

5.1 Vattnets kretslopp

Vattnet cirkulerar i ett kretslopp som kortfattat kan beskrivas som att vattnet från mark, sjöar, hav och växter avdunstar i ånga och faller ner som regn eller snö. Det regn som faller på marken tas delvis upp av växter, rinner av som dagvatten eller tränger ner genom jordlager och berggrunden och bildar grundvatten. [4]

Jordvolym består huvudsakligen av tre grundvariabler; jordpartiklar, gasporer och en eventuell vätska. Den strikta definitionen för grundvatten är: där luftporerna är helt fyllda av vatten och portrycket är högre eller lika med atmosfärstrycket. [5] Det finns även ett bundet vatten i marken som kallas för markvatten. Markvattnet har negativ tryckpotential. Då tryckpotentialen är noll påträffas grundvattenytan.

5.2 Jordzoner

Jorden delas in i olika zoner och ytor vid tal om grundvatten. De olika zonerna och ytorna är från markytan och neråt: markytan, rotzonen, sjunkvattenzonen, övre kapillärgräns, undre kapillärgräns, kapillärvattenzon, grundvattennivå och grundvattenzon. [5, 6]

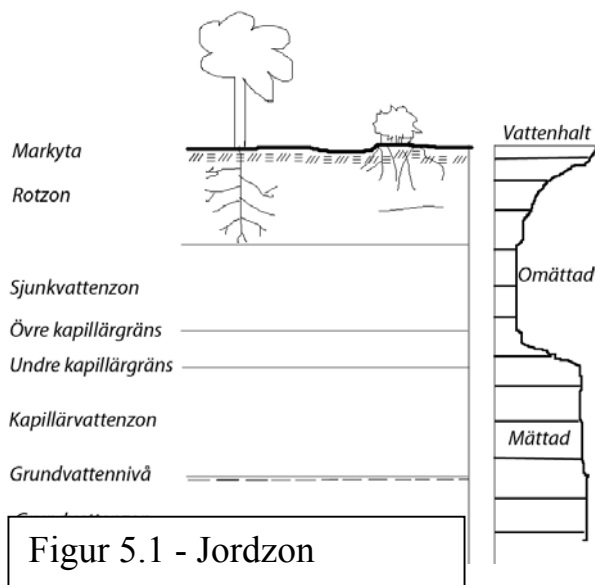
Rotzonen sträcker sig så långt som växternas rötter når.

Sjunkvattenzonen är zonen

mellan markytan och grundvattenytan. I inskränkt bemärkelse är den zonen mellan rotzonen och kapillärvattenzonen.

Kapillärvattenzonen är den zon i jordlagren där grundvattnet med hjälp av kapillära krafter stigit från grundvattennivån. Denna zons mäktighet varierar beroende på vad det är för jordart [5].

Grundvattennivå mäts antingen genom att gräva en brunn och låta vattnet flyta till under en längre period eller i ett öppet perforerat rör som går ner i gränssonen mellan kapillärvattenzonen och grundvattenzonen. [5] Om det fortfarande är svårt att bestämma grundvattennivåns position måste



Figur 5.1 - Jordzon

porvattentryckmätningar utföras. Från grundvattenzonen och upp till undre kapillärgränsen är vattenhalten relativt konstant (mättad se figur 5.1). Därefter börjar vattenhalten att avta mer drastiskt tills den kommer till övre kapillärgränsen där vattenhalten börjar bli mer konstant igen.

Grundvattennivån varierar beroende på nederbörd, topografi, årstid m.m.

5.3 Jordartsmodell

Vid större djup än jordzonerna finns skikt av olika bergarter och jordarter som varierar i mäktighet. Olika jordarter har olika genomsläpplighet (se nedan hydraulisk konduktivitet kapitel 5.5).

Som hjälpmedel för beräkningar har en konceptuell jordartsmodell för hela tunnelsträckan använts (bilaga 2). Vid mer detaljerade geotekniska undersökningar kan jordarten bestämmas mer exakt.

5.4 Porositet

Porositeten i en jordvolym definieras som andelen hålrum per hela materialets volymenhet. Följaktligen är enheten volymprocent. [11]

5.5 Hydraulisk konduktivitet

Med hydraulisk konduktivitet avses en jord- eller bergarts materialspecifika förmåga att släppa igenom vatten, angiven som grundvattenflöde per tidsenhet. Då hänsyn tas till vätskans egenskaper (tätheten, temperaturen/viskositeten) används begreppet hydraulisk konduktivitet, som betecknas K och har enheten m/s. [5]

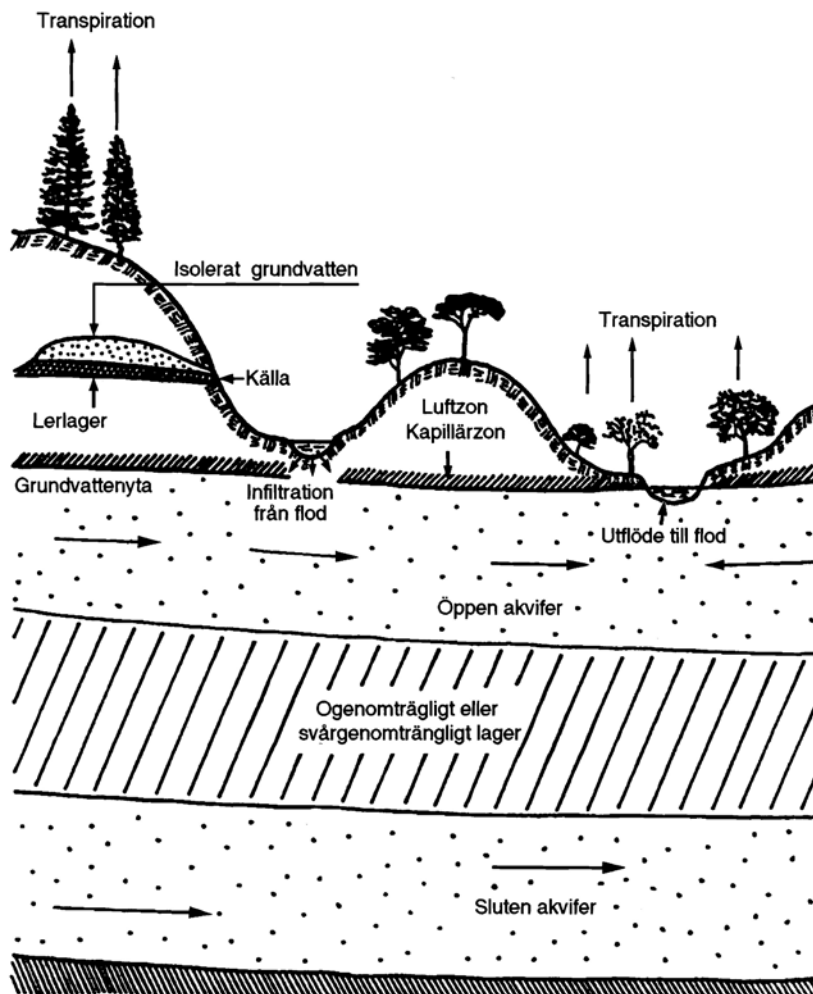
Jordart	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Grus	$10^0 - 10^{-3}$
Sand	$10^{-2} - 10^{-5}$
Mellansand/grovmo	$10^{-3} - 10^{-6}$
Lera	$10^{-8} - 10^{-10}$

Tabell 5.1 – Ungefärliga värden för hydraulisk konduktivitet [5]

5.6 Akvifer

En akvifer lagrar grundvatten i så stor mängd att grundvatten kan utvinnas i användbara mängder. [5] Det finns flera typer av akviferer, de som är relevanta för oss är slutna och öppna.

En sluten akvifer är en akvifer instängd av täta jordarter eller bergarter se figur 5.2. En öppen akvifer ligger ej under ett ogenomträngligt material.



Figur 5.2 - öppen och sluten akvifer

Olika akviferer kan ha en tryckdifferens som, vid borrning, kan leda till tryckutjämning mellan dem. Detta kan leda till spridning av föroreningar, sättningar med mera.

5.7 Magasinkoefficient

Då innehållet i en mättad akvifer eller den begränsade enheten förändras kan vatten antingen lagras eller drivas bort. Vid en trycksänkning avger en akvifer en viss mängd vatten beroende på materialets egenskap. Magasinkoefficienten (eng. storativity) betecknas S . [16]

5.8 Transmissivitet

Transmissivitetskoefficienten (T) är ett mått på hur mycket vatten, som vid en viss gradient kan röra sig genom ett lager.

$$T = K * m \text{ [m}^2\text{/s]}$$

där:

K = hydraulisk konduktivitet [m/s]

m = vattenförande lagrets mäktighet [m]

[5]

Den hydrauliska konduktiviteten i sand kan bestämmas med hjälp av en siktkurva och Hazens formel:

$$K = C * d_{10}^2$$

där

C = en konstant beroende på vad det är för jordart

D_{10} = den effektiva kornstorleken (läses ut ur en siktkurva)

K = hydrauliska konduktiviteten

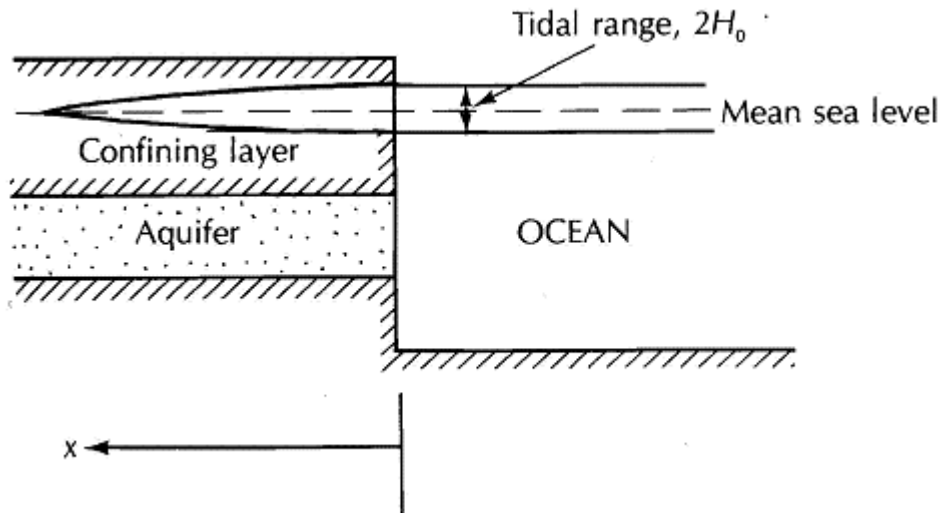
[16]

5.9 Havsvattennivåns inverkan på grundvattennivån

En permanent ökning av havsytans nivå ger en motsvarande ökning av grundvattnets nivå i kustnära områden där förändringen i topografin är måttlig. Vid kustnära områden påverkas grundvattennivån olika fort beroende på vad det är för jordart. Vid jordarter med hög permeabilitet, såsom sand och grus, påverkas grundvattennivån snabbare än vid finkorniga jordarter, såsom lera och silt. Vid stormar med höjd eller sänkt havsvattennivå kan grundvattennivån höjas eller sänkas olika snabbt beroende på vad det är för jordart.

Havsvattennivåns påverkan på en kustnära sluten akvifer kan beskrivas:

$$H_x = H_0 \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}\right) [\text{m}]$$



Figur 5.3 - Sluten akvifer

där:

H_x = grundvattenförändringen x meter in från kajkant [m]

H_0 = amplituden på havsnivåerna [m]

x = meter in från kustgränsen [m]

t_0 = tiden mellan extremerna [s]

S = magasinskoefficienten [%]

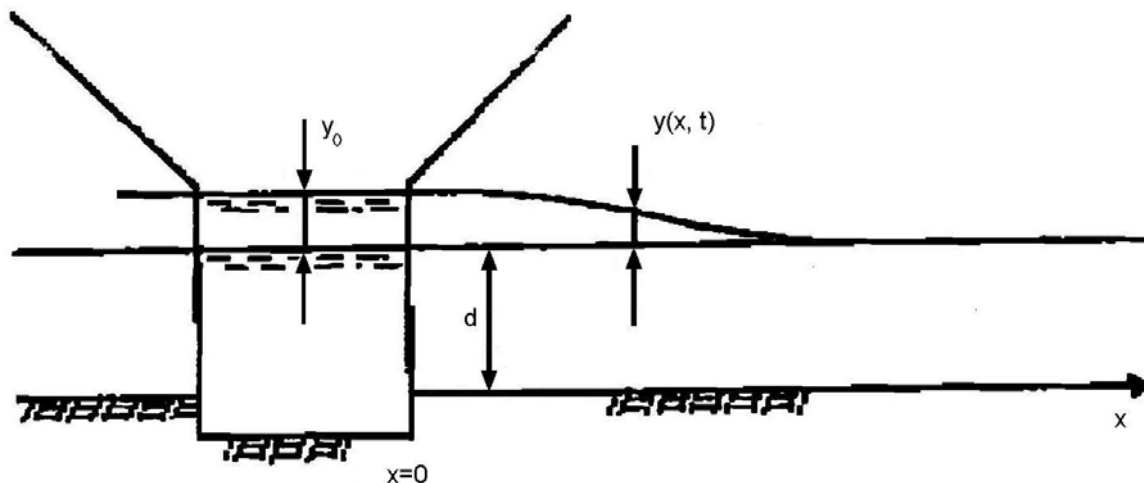
T = transmissivitet [m^2/s]

[16]

Vid beräkning av öppna akviferer används Dupuits antagande: ”den totala potentialgradienten på varje nivå är lika med grundvattenytans lutning mot horisontalplanet”. [5]

För att beräkna förändringen behövs formeln:

$$y(x) = y_0 * \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{2} * \sqrt{\frac{n}{K * d}} * \frac{x}{\sqrt{t}}\right)$$



Figur 5.4 - Öppen akvifer

där:

erfc = en "felfunktion" som läses av i ett diagram [24]

d = grundvattenytans medelhöjd [m]

K = permeabiliteten

n = porositeten

$t = t_0$ som beskrivs ovan [s]

$y_0 = H_0$ = differensen mellan havsnivåextremerna [m]

[6]

5.10 Nederbördsinfiltrationens inverkan på grundvattennivån

Nederbördens infiltration till grundvatten kallas perkolation. Detta sker när rotzonen har en så hög vattenhalt att den kapillära kraften i porerna inte kan hålla emot gravitationen [17]. Mängden vatten som perkolerar till grundvatten är, förenklat, nederbörden minus avdunstningen och transpirationen från växter. För att räkna ut grundvattenbildningen i ett visst område måste nederbörds mängd och avdunstning vara kända.

Avdunstningen är starkt beroende av lufttemperaturen och kan generellt för året uttryckas med Tamms formel:

$$A_{tot} = 221,5 + 29T$$

där

A_{tot} = totala avdunstningen [mm]

T = årsmedeltemperaturen [$^{\circ}\text{C}$]

[5]

Då avdunstningen varierar kraftigt över året med ingen avdunstning under vinter, liten avdunstning under vår och höst och hög under sommar kommer detta att påverka perkolationen. Vid temperaturer T [$^{\circ}\text{C}$]:

$T \geq 0 \Rightarrow$ avdunstning

$T \leq 0 \Rightarrow$ ingen avdunstning

Den regnmängd som kan avdunsta kallas den potentiella avdunstningen E_{pot} . Denna ges av nedanstående formel, där proportionalitetsfaktorn $B(t)$ antas variera sinusformat över året med högst värde under sommaren, eftersom luften då förväntas vara torrare och globalstrålningen större. [17]

$$B(t) = \left(1 + A * \sin \left(2\pi \frac{t + \Psi}{365} - \frac{\pi}{2} \right) \right) * C_E$$

$$E_{pot} = B(t) * T$$

t = dagnummer på året

A = amplitud

Ψ = fasförskjutning [dagar]

C_E = avdunstningsparameter [$\text{mm d}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$]

[17]

5.11 Grundvattnets hydrauliska påverkan på konstruktioner

5.11.1 Arkimedes princip

Vid byggnation under grundvattenytan kan komplikationer såsom uppflytning, sättning eller vattenfyllnad uppstå. För att undvika dessa komplikationer måste byggnaden förankras i berggrund.

Ett föremål som sänks ned i en vätska påverkas av en lyftkraft som är lika stor som tyngden av den undanträngda vätskemängden [11].

Den lyftkraften som påverkar konstruktioner kan betecknas:

$$F = V * \mu * g$$

där:

F = den kraft som kroppen påverkas av [N]

V = kroppens volym [m^3]

μ = densiteten på fluiden [kg/m^3]

g = tyngdaccelerationen = 9,81 [m/s^2]

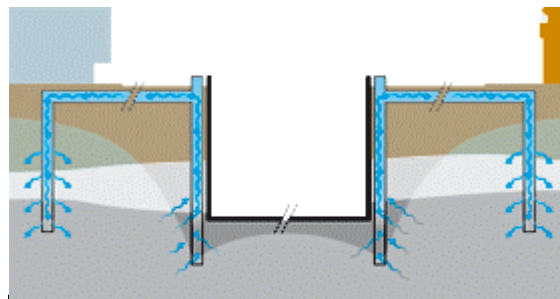
Vid byggnation under grundvattenytan är Arkimedes princip tillämplig och byggnaden påverkas av en lyftkraft. Egentyngd av jord och konstruktionen

kombinerad med vattentryck vid dimensionerande grundvattennivå är inverkan faktorer. [20]

5.11.2 komplikationer

Det finns även andra komplikationer som kan uppstå vid schakt under grundvattenytan. Då grundvattnet rinner till i gropen eller vid kraftigt regnväder kan byggnadsarbetsplatsen fyllas med vatten och ekonomiska katastrofer i både förstört byggmaterial och bortfall av byggnadstid uppkomma. För att undvika detta görs normalt en tillfällig grundvattensänkning. Eftersom risken för skador på omkringliggande byggnader är stor vid grundvattennivåsänkning måste grundvattennivån noga följas upp. [5] Ansvaret för uppkomna skador på omkringliggande byggnader ligger på tunnelbyggaren. [5] Han måste därvid kunna påvisa att det inte orsakat skador på omgivande byggnader. Återinfiltration

För att skydda omkringliggande byggnader kan det bli nödvändigt med återinfiltration se figur 5.5. Återinfiltration är då det pumpas läns vid arbetsplatsens närhet och sen pumpas vattnet ner i marken några meter därifrån. Man får en lokal sänkning som endast berör själva byggarbetsplatsen.



Figur 5.5 – Återinfiltration
Citytunneln

5.12 Säkerhet mot uppflytning

Vägverket har tagit fram en beräkningsmodell för säkring mot uppflytning med avseende på konstruktioner under grundvattenytan. Modellen är indelad i tre säkerhetsklasser där:

SK1	Säkerhetsklass 1	Liten risk för allvarliga personskador	$\gamma = 1,0$
SK2	Säkerhetsklass 2	Någon risk för allvarliga personskador	$\gamma = 1,2$
SK3	Säkerhetsklass 3	Stor risk för allvarliga personskador	$\gamma = 1,4$

Tabell 5.2 – Säkerhetsklasser Vägverket [19]

Vidare ska säkerhetsklass 3 användas för konstruktioner där stabilitetsbrott eller uppflytning berör samhällsekonomiskt viktig anläggning. [19]

Dimensionerande vattennivå beräknas enligt nedan:

$$HHW_{Dim} = MW + \gamma * (HHW - MW)$$

där:

HHW_{Dim} = dimensionerande vattennivå
MW = medelvattennivå
HHW = högsta högvattennivå med 50 års återkomsttid
 γ = säkerhetsklass
[19]

5.13 Södertunnelns konstruktion

Södertunneln kommer att byggas med ”cut-and-coverprincipen”. Denna metod går ut på att gräva ett schakt i vilket ett tunnelrör placeras. Därefter sker återfyllning. Tunnelröret kommer att vara förankrat i berggrunden med hjälp av ingjutna stag för att förhindra att tunneln trycks upp av grundvattentrycket. Den dimensionerande grundvattennivån kommer att vara direkt avgörande för hur förankringen dimensioneras.



Figur 5.6 – Cut-and-coverprincip. Knutpunkten

6 Klimat

I detta kapitel studeras havsnivå, temperatur och nederbörd, vilka är de parametrar som bedöms vara mest relevanta för aktuell frågeställning. Helsingborgs Hamn AB och VA-verket har tagit fram data som sammanställts, medan prognoserna om 100 år är framtagna av SMHI.

6.1 Klimat idag

6.1.1 Nederbörd

Enligt SMHI har Helsingborg en årsnederbörd på ca: 700 mm. [b] VA-verket i Helsingborg mäter nederbörden dagsvis. Den data de hade lättillgänglig var för perioden 2002 till 2008. Efter våra medelvärdesberäkningar var årsnederbörden 724 mm.

Den nederbörd som är intressant är ett medelvärde på dagsnederbörden per månad enligt diagram 6.1.

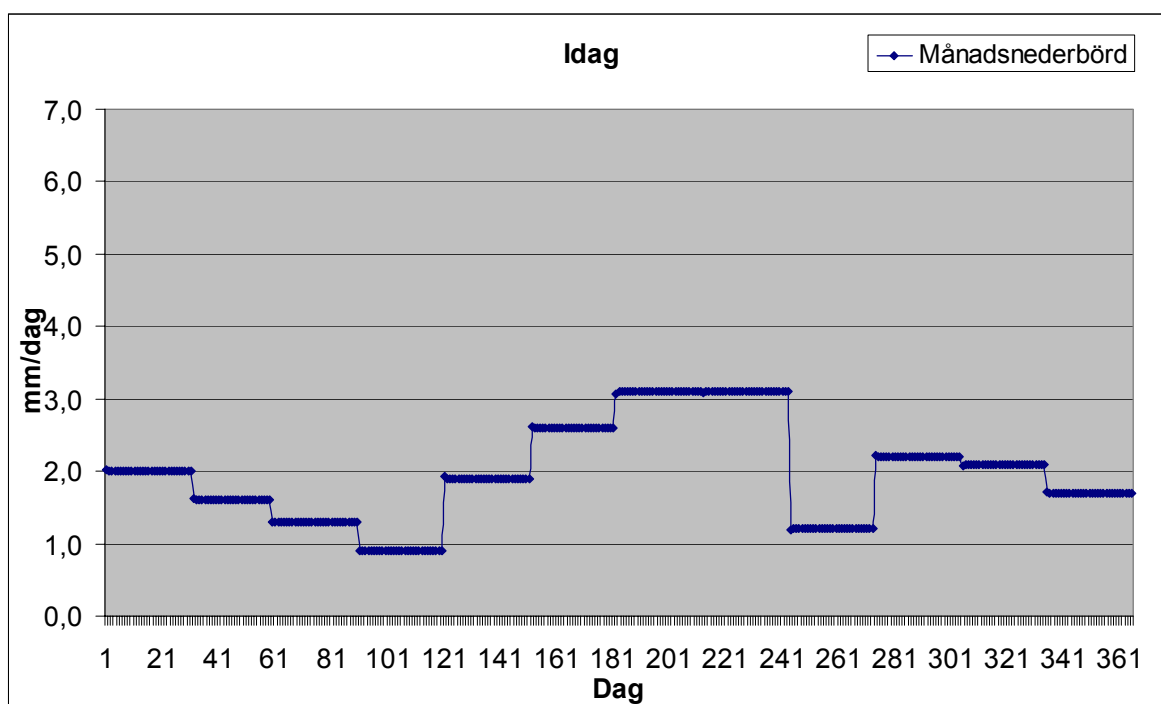


Diagram 6.1 – Månadsnederbörd

I diagram 6.1 ovan syns en något större nederbörd på sommaren än vintern. I verkligheten förekommer färre regn under sommaren men de som sker har större nederbördsmängd.

6.1.2 Extremnederbörd

Det finns två definitioner på extremnederbörd; en nederbörd om minst 90 mm på en areal på 1000 km² under 24 timmar (typ 1) och en nederbörd med minst 40 mm under 24 timmar vid någon av SMHIs nederbördsstationer (typ 2). [13]

Mellan 1926 – 2007 har ca: 59st extremregn av typ 1 inträffat i hela Sverige. Minst 7st av dessa är i närheten av Skåne. [13] Extremnederbörderna av typ 2 är betydligt fler i Sverige. Mellan 10 och extremfallet 65 dygn/år har det regnat mer än 40 mm under 1926 - 2007. Det är mestadels under sommaren dessa extremnederbörder faller. [13]

6.1.3 Havsnivå

Helsingborgs Hamn AB mäter var fjärde timme havsnivån och skriver ner det i en loggbok. Värdena fördes in i ett Excel dokument. Mätaren har vid tillfällena varit trasig och data har gått förlorad. Då datamängden är stor (20 841 st) anses dock att den är fullt tillräcklig för att användas. Intressanta tidpunkter såsom under stormen ”Gudrun” (den 8 till 9 januari 2005) är inte bokförda. År 2008 fanns det enbart värden fram till den 26 mars alltså bör det året tas bort från medelvärdesberäkningarna. Däremot är året i sig väldigt intressant i och med att det har ett väldigt högt högsta högvattenvärde (HHW).

Under året varierar havsnivån kraftigt. Från att vara hög nivå med hög variation i januari till maj så är den relativt låg och jämn under resten av året. De högsta uppmätta havsnivåvärdena förekommer under 2007 - 2008.

År	Havsvattennivåns medelvärde [cm]	Högsta värde [cm]	Lägsta värde [cm]	Antal värden [st]
2008	+15,01	+130	-73	488
2007	+18,14	+160	-63	1988
2006	+1,01	+107	-31	2074
2005	+1,77	+61	-46	2091
2004	+9,65	+90	-39	2116
2003	+5,07	+72	-50	2088
2002	+6,13	+100	-71	2050
2001	+5,74	+86	-58	2013
2000	+6,77	+115	-40	2019
1999	+6,11	+102	-45	1929
1998	+7,01	+80	-50	1985
Summa:	82,42	-	-	20841
Antal:	11	11	11	11
Medel:	+7,49	-	-	-

Tabell 6.1 – Havsvattennivån i Helsingborg

Som referens till dessa värden har använts MW som är +0,217 m under Helsingborgs/rikets nollnivå.

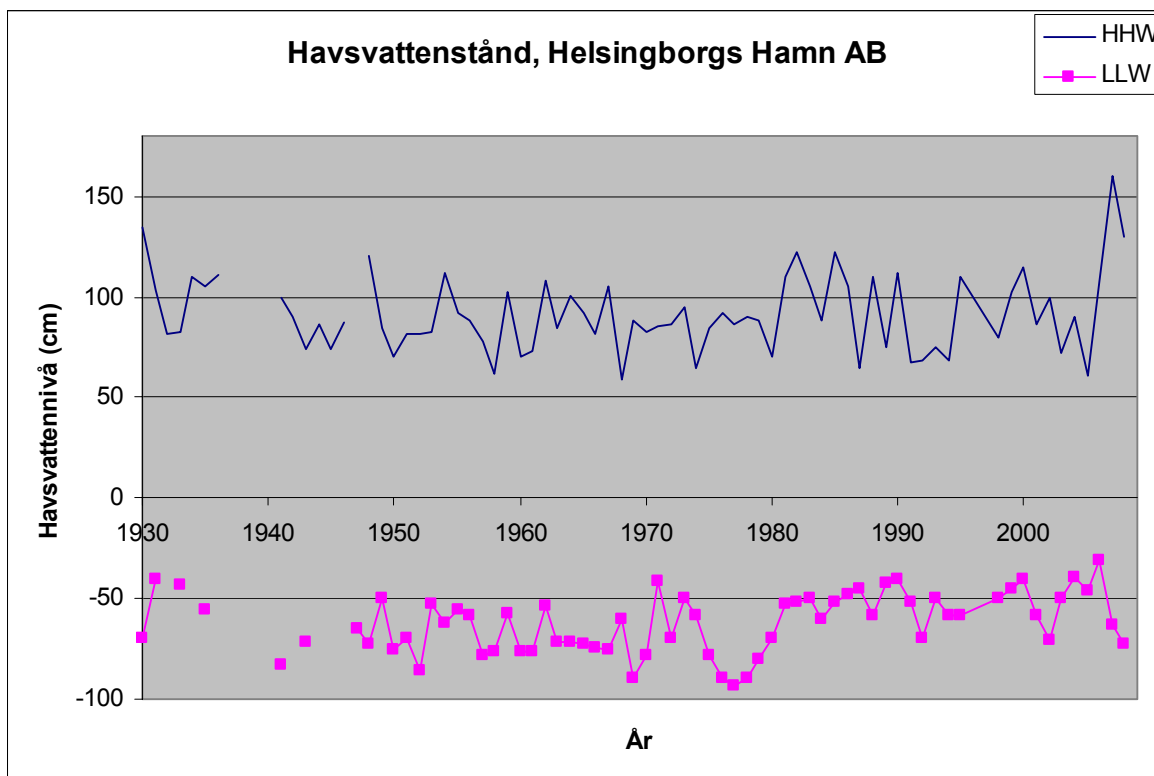


Diagram 6.2 – Havsvattenstånd, Helsingborgs Hamn AB

Värdena från 1930 till 1995 är framtagna av Helsingborgs hamn till en geoteknisk undersökning av KM. [23] Resterande värden (1998 - 2008) är framtagna för denna rapport.

6.1.4 Temperatur

Temperaturerna är från SMHI:s väderstation Malmö A. Där är temperaturen mätt tre gånger om dagen kl 06, 12 och 18.

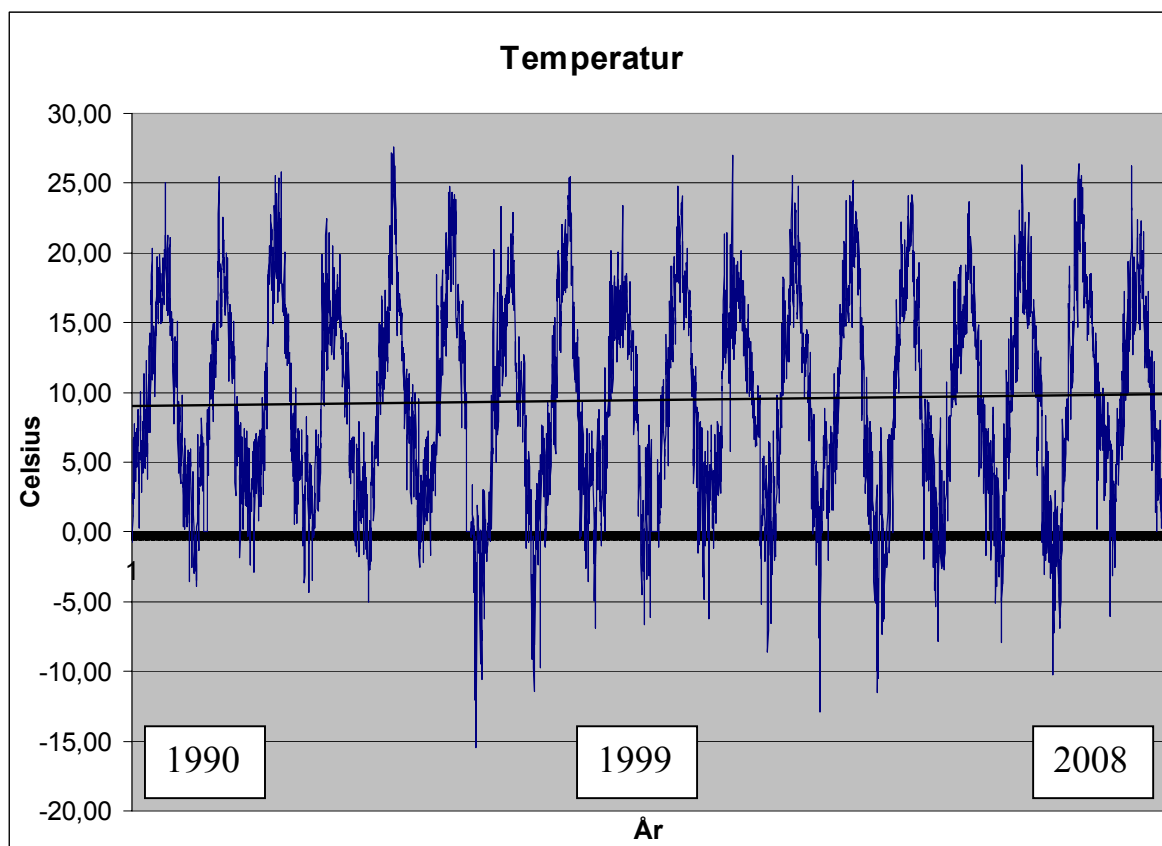


Diagram 6.3 – Temperatur. Data från SMHI

Som synes i diagram 6.3 varierar temperaturen och är högre på sommaren och lägre under vintern. En trendlinje visar att temperaturen har stigit med en grad Celsius från den 1:a januari 1990 till den sista december 2007.

6.2 Hur klimatet förväntas förändras

Flera tecken talar för ett klimat under förändring. Medeltemperaturökningar på 0,6 grader under en kort tid kan få till följd att glaciärer smälter, stigande havsnivåer och förändrade nederbördsmängder. [8]

Analysen, som är genomförd av SMHI, har tagit i beaktning de fysikaliska processerna i atmosfär-land-vatten. Beräkningarna görs fram till och med år 2100. Resultaten är framtagna för 18 distrikt i Sverige. Värdena nedan är för sydvästra Götaland. Utsläppsscenarierna är framarbetade av FN:s klimatpanel Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). De baseras på antaganden om framtida ekonomi, befolkningstillväxt, globalisering, omställning till miljövänlig teknik med mera. Det finns två scenarier i denna analys. A2 (ceris kurva i graferna) är det scenariot då det antages en snabb

befolkningstillväxt och intensiv energianvändning. B2 (turkos kurva i graferna) är det scenariot då det antages en långsammare befolkningstillväxt och mindre energianvändning. Analysen är baserad på SMHI:s klimatdata från 1961 till 1990. [9]

6.2.1 Nederbörd

Det finns en trend mot ökad nederbörd. Enligt SMHI beräknas årsmedelnederbörden stiga med upp till 15 % till år 2100. Vinternederbörden beräknas öka med 40-70 % medan sommarnederbörden minskar med 10-50 %. Vår och höst - nederbörden beräknas öka med 10-20 %. [9]

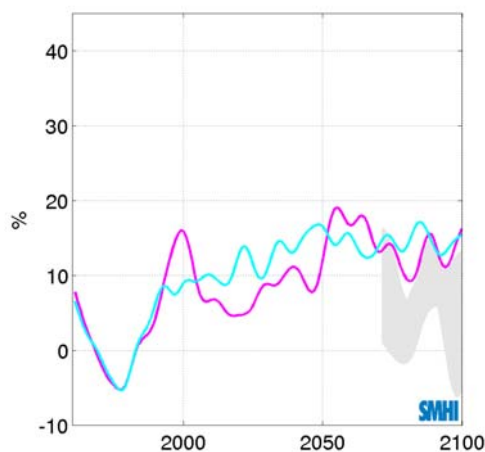


Diagram 6.4 – Nederbördsförändring. Prognos enligt SMHI.

Med en ökning av nederbörden på vinter, vår och höst kommer månadsnederbörden att jämnas ut och bli mer konstant enligt diagram 6.5 nedan. Nederbörden under sommaren kommer att minska.

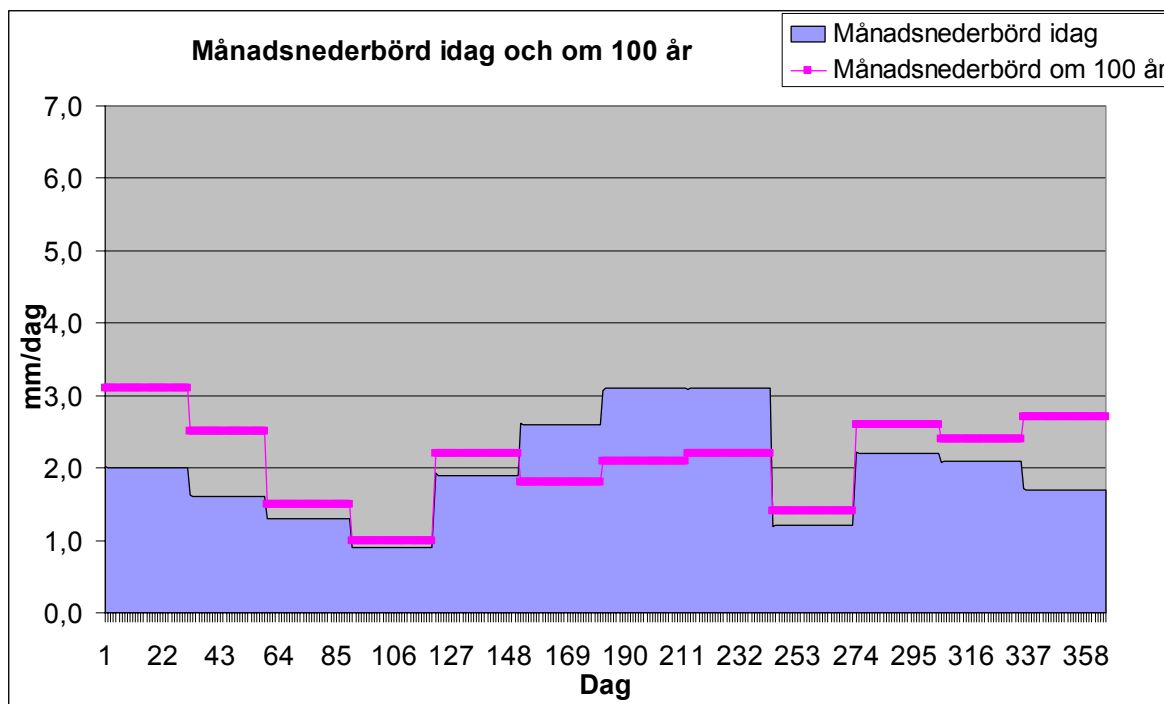


Diagram 6.5 – Nederbörd om 100 år. Prognos enligt SMHI

6.2.2 Extremnederbörd

I modellsammanhang exemplifieras extremnederbörd på ett annat sätt än SMHI:s två mätyper ovan (kapitel 6.1.2). Där behandlas inte data punktvis utan som nederbörd över arealer på tex 22 km gånger 22 km. Därför betraktar man nederbörd över 10 mm som kraftig nederbörd i modellsammanhang.

SMHI säger att antal dagar med extremnederbörd beräknas öka med ca: 8 dagar/år. Medan den maximala nederbörden under 7 sammanhängande dagar beräknas öka med upp till 20 % till år 2100 [9].

Ny forskning visar att en ökning av extremnederbörd inte kan statistiskt säkerställas för perioden 1919-2007. [21] Detta gäller bara för dygnsvärden och inte flerdygnsvärden, vilket kan ge annat resultat.

Osäkerheten i vad som kommer att gälla får till konsekvens för vår fortsatta analys att vi kommer att bortse från extremnederbörden.

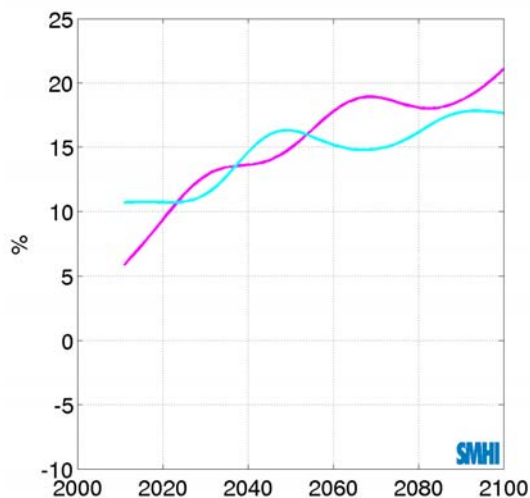


Diagram 6.6 – Ökning av extremnederbörd, Prognos enligt SMHI

6.2.3 Havsnivå

På grund av att temperaturen förväntas öka kommer även havsvattennivån att öka. Detta kommer att ske via volymförändring av vattnet och av att glaciärer och poler smälter. Enligt en rapport framtagen av Länsstyrelserna i Skåne och Blekinge Län kan en höjning av havsnivån ske med 72 cm de kommande 100 åren. [22] SMHI:s prognos för havsvattenhöjningen de närmaste 100 åren är 60-80 cm. [10] Den statistik som presenteras i detta arbete (diagram 6.7) visar, med hjälp av en trendlinje, en ökning av havsvattennivån på 6,7 cm från 1998 fram till 2008. Vid en extrapolering av trendlinjen fås en ökning av havsnivån på 67 cm på 100 år.

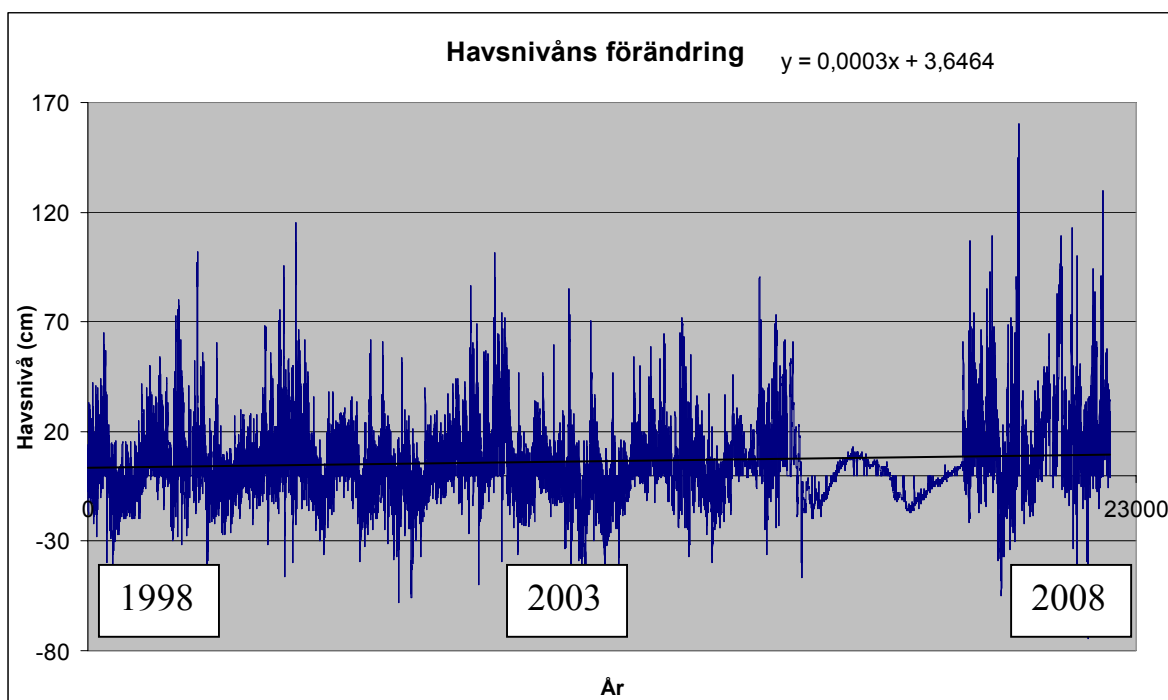


Diagram 6.7 – Havsnivåns fluktuation, data Helsingborgs Hamn

6.2.4 Temperatur

Årsmedeltemperaturen i Sydvästra Götaland beräknas öka med ca: 4-5°C fram till år 2100 enligt diagram 6.8. [9]

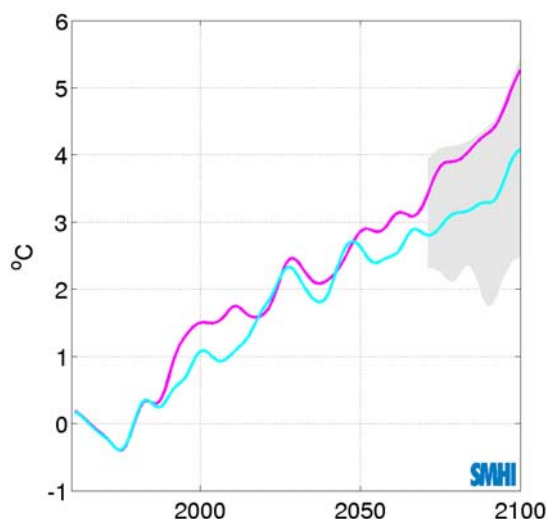


Diagram 6.8 – Temperaturförändring, prognos från SMHI

7 Beräkningar och resultat

Med data framtagna i kapitel 6 kommer i detta kapitel en analys av vilka effekter det medför på dimensionerande grundvattennivå i området Södertunneln att utföras.

7.1 Regnmängd

Det som påverkar grundvattennivån vid det aktuella området bedöms vara nederbördsförändringar i samband med temperaturförändringar och havsvattennivåförändringar i synnerhet.

Jordarten bedöms vara mestadels sand.

Avdunstningsmängden är beräknad med hjälp av $B(t)$ – formeln enligt ovan (kapitel 5.11), $A = 0,5$, $\Psi = 45$ dagar, $C_E = 0,19$ och $1 \leq t \leq 365$, t är heltal. Detta värde för $B(t)$ har multiplicerats med SMHI:s temperaturvärden från ”Malmö A”. Vilket ger värden för den potentiella avdunstningen E_{pot} .

Nederbördsvärdena från varje dag mellan 2002-01-01 till 2008-04-13 är sammanställda till nederbördsmängder i genomsnitt per dag varje månad som ges i diagram 7.1.

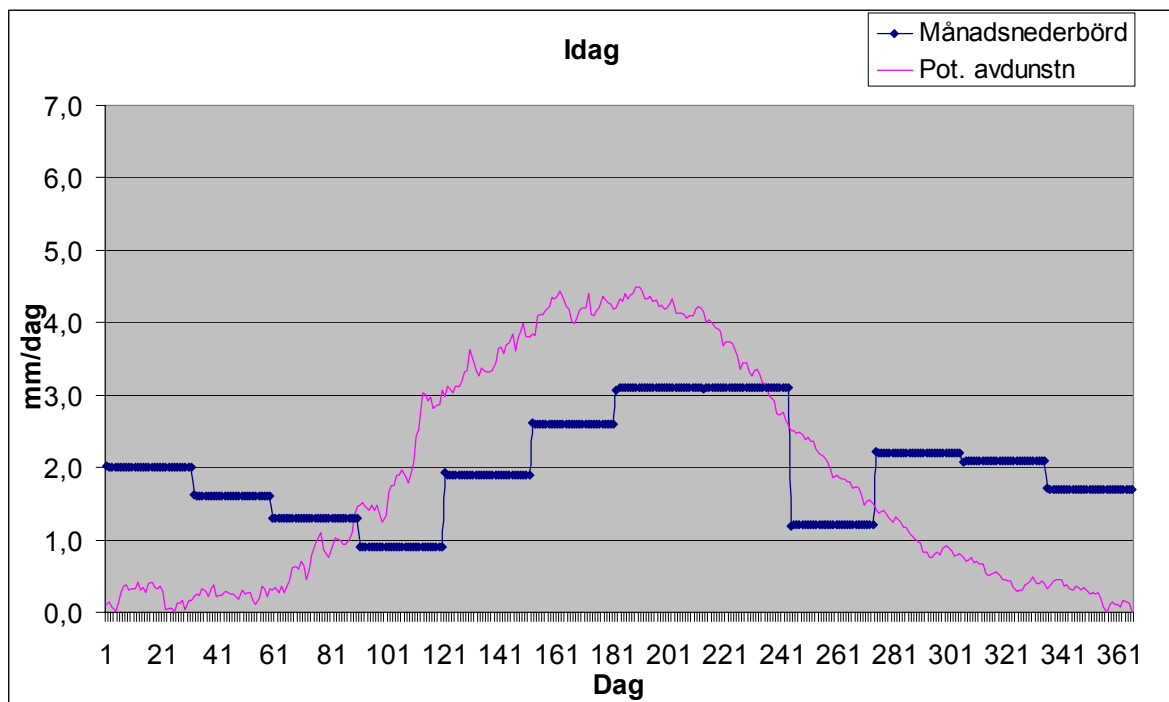


Diagram 7.1 – regnmängd och avdunstning idag

Som nämnts ovan kommer enligt prognoserna vinternederbörden att öka med 40-70 % medan sommarnederbörden minskar med 10-50 %. Vår och höst - nederbörden ökar med 10-20 %. Vi har antagit medelvärden för en ökning av vinternederbörden (januari, februari och december) med 55 %, vår och höstnederbörden (mars, april, maj, september, oktober och november) med 15 % och en minskning av sommarnederbörden (juni, juli och augusti) på 30 %.

Vid multiplikation mellan dessa procentsatser och VA-verkets värden fås en kurva som visar högre nederbörd under vinterhalvåret och mindre under sommarhalvåret (se diagram 7.2).

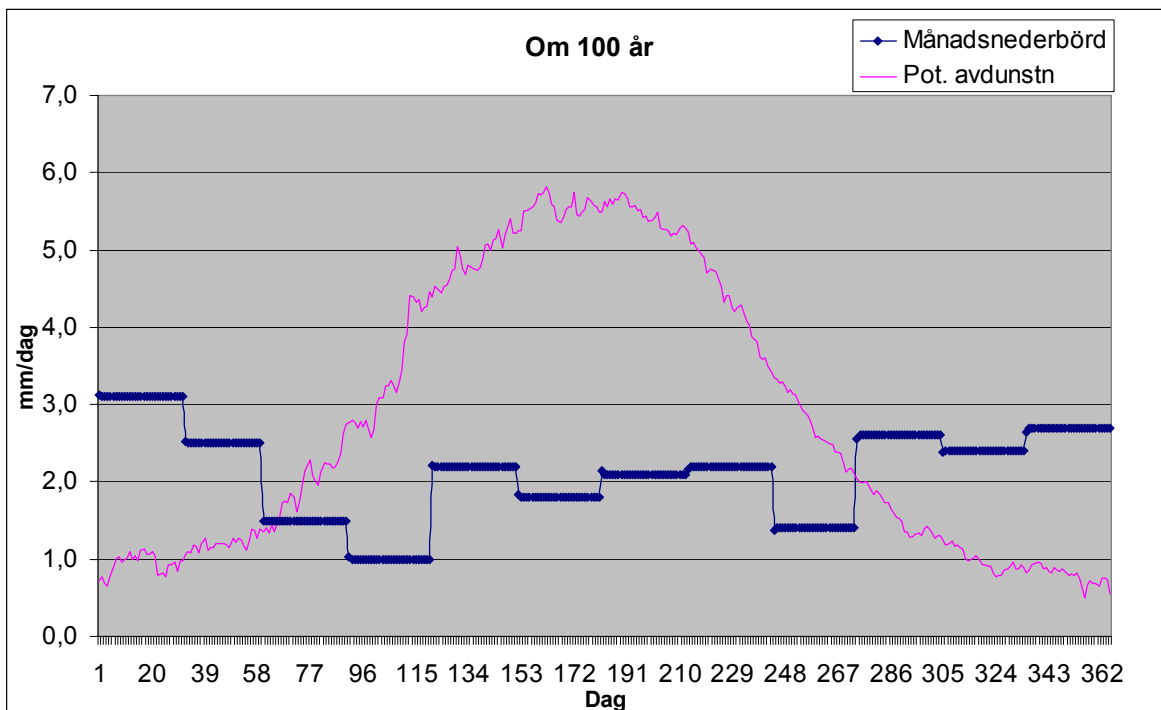


Diagram 7.2 – regnmängd och avdunstning om 100 år

Enligt SMHI:s prognos erhålls en temperaturökning på 5 °C om 100 år. Denna konstant adderades temperaturen vid Malmö A innan den multiplicerades med $B(t)$ för att få fram den potentiella avdunstningen om 100 år (se diagram 7.2).

Eftersom den potentiella avdunstningen (E_{pot}) är större än regnmängderna (I) under sommarmånaderna kommer ingen grundvattenbildning (R) att ske. Det är således bara de tre första och de tre sista månaderna på året som grundvatten kan bildas.



Figur 7.1 – vattenbalans, I = regnmängd, E = avdunstning, R = perkolations

7.1.1 Beräkningar för dagens situation

För att beräkna grundvattenbildningen idag räknas arean ut för nederbörden under de aktuella månaderna och subtraheras med arean för den potentiella avdunstningens kurva. Beräkningar avser naturmark och inte stadsmiljö med hårdgjorda ytor.

Nederbörden som faller under januari, februari, mars, oktober, november och december idag kan beräknas enligt:

$$I = 2 * 31 + 1,6 * 29 + 1,3 * 31 + 2,2 * 31 + 2,1 * 30 + 1,7 * 31 = 333 \text{ [mm]}$$

Den potentiella avdunstningen för samma månader kan beräknas till:

$$E = \frac{1,2}{2} * 41 + 0,2 * 50 + \frac{1,4}{2} * 92 = 34,6 + 64,4 = 99 \text{ [mm]}$$

Differensen blir följaktligen:

$$R = I - E = 333 - 99 = 234 \text{ [mm]}$$

Grundvattenbildning på 234 mm per år erhålls. Detta värde stämmer överrens med grundvattenbildning på 200 mm per år som anges i boken Grundvatten teori och tillämpning. [5] Resultaten har diskuterats med Sten Bergström (SMHI) och Allan Rodhe (Uppsala Universitet).

7.1.2 Beräkningar om 100 år

Om 100 år kommer det, enligt diagram 7.2, inte att ske någon grundvattenbildning under mars som det gör idag. De aktuella månaderna blir följaktligen: januari, februari, oktober, november och december och nederbörds mängden kan beräknas enligt:

$$I = 3,1 * 31 + 2,5 * 29 + 2,6 * 31 + 2,4 * 30 + 2,7 * 31 = 405 \text{ [mm]}$$

En ökning med ca: 70 mm av nederbörden gör att den potentiella avdunstningen blir:

$$E = \frac{1,5-1}{2} * 60 + 1 * 60 + \frac{2-0,9}{2} * 46 + 0,9 * 92 = 75 + 108,1 = 183 \text{ [mm]}$$

Differensen blir:

$$R = I - E = 405 - 183 = 222 \text{ [mm]}$$

7.2 Extremnederbörd

Det kan inte ses någon förändring angående extremnederbörden. Extremnederbörden antas därför vara densamma. Därför är denna aspekt borttagen från rapporten.

7.3 Havsvattennivå

SMHI beräknar en havsnivåhöjning på 60-80 cm, länsstyrelsen i Skåne och Blekinge beräknar en höjning på 72 cm. Då en trendlinje förs in i diagrammet nedan erhålls en höjning på 6,7 cm från 1998 – 2008. Vid extrapolation i 100 år erhålls en höjning på 67 cm. Vår datamängd anses för liten för att statistiskt säkerställas i en sådan här beräkning. Ett värde på 70 cm höjning av havsvattennivån om 100 år har valts för fortsatta beräkningar.

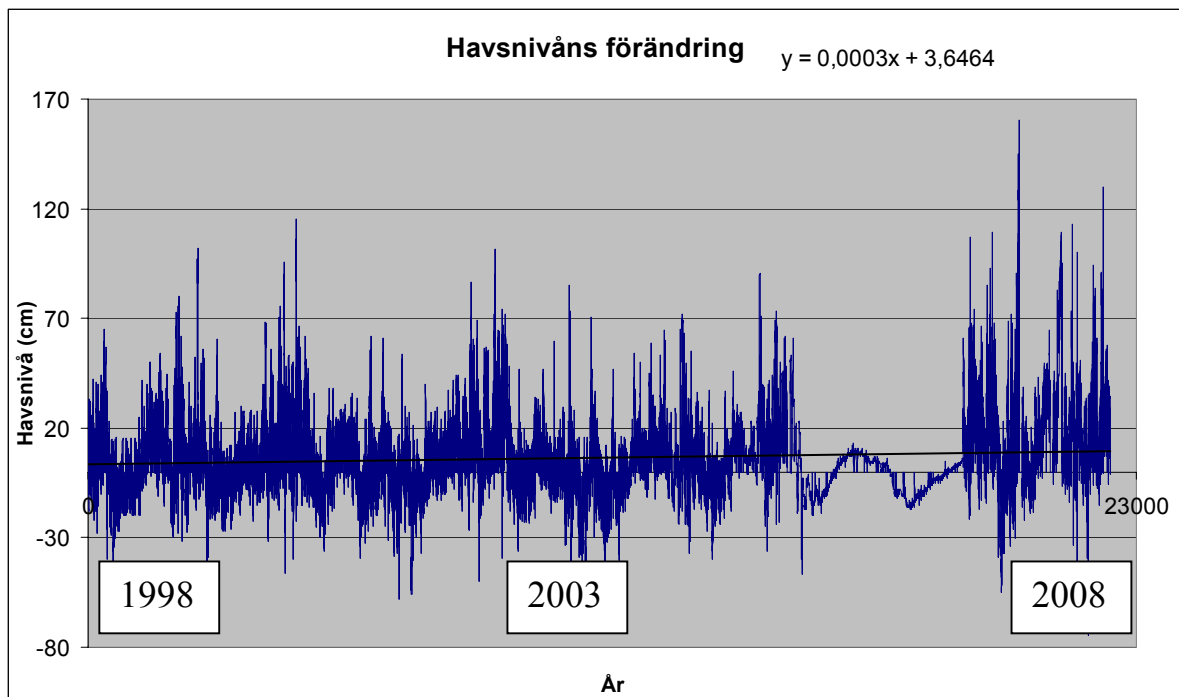


Diagram 7.3 – Havsnivåförändring

7.4 Standardavvikelse för havsvattennivån

I diagrammet för standardavvikelse kan man se att kurvan idag är lite förskjuten från nollpunkten. Den är även väldigt spetsig vilket tyder på en liten variation. Ett extremvärde över 100 cm sker väldigt sällan.

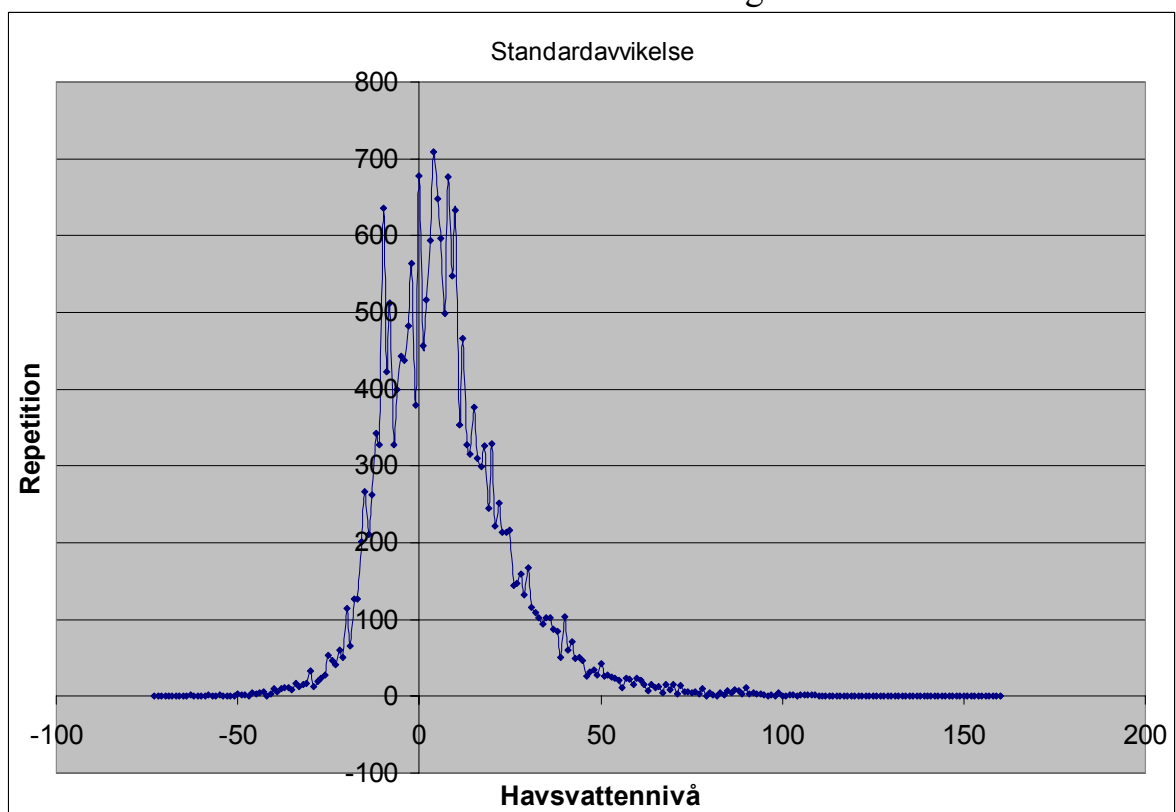


Diagram 7.4 – Standardavvikelse

7.5 Vägverkets beräkningsmodell mot uppflytning

Specifika värden för HHW och MW har tagits fram för Helsingborg med hjälp av Helsingborgs Hamn AB. Då tunneln betraktas som samhällsekonomiskt viktig väljs säkerhetsklass 3 vilket leder till ett γ på 1,4.

$$HHW = +1,60$$

$$MW = +0,0707$$

$$HHW_{Dim} = +0,0707 + 1,4 * (+1,60 - 0,0707) = +2,212$$

Då havsvattennivåerna ökar med 0,7 m på 100 år blir beräkningarna som följer:

$$HHW_{om\ 100\ \text{år}} = +1,60 + 0,7 = +2,3$$

$$MW_{om\ 100\ \text{år}} = +0,0707 + 0,7 = +0,7707$$

Värt att observera är att den faktiska högsta högvattennivån om 100 år (+2,3) är högre än den dimensionerande grundvattennivån (+2,2) som Vägverket använder vid projektering mot uppflytning.

7.6 Korttidseffekter på grundvattnet vid havsvattenförändringar

Det anses intressant för resultatet vad som sker med grundvattennivån vid temporära havsvattennivåförändringar. Eftersom området är kustnära och jordarten bedöms vara mestadels sand men även fyllnadsmaterial kan förändringar på havsvattennivån ge förändringar på grundvattennivån.

Genom att studera provtagningsmaterial har beräkningar av grundvattennivåförändringar kopplade till havsvattennivån beräknats. Beräkningarna är utförda för slutna akviferer och öppna akviferer. Avståndet mellan mätpunkterna och havet är uppmätta i kartor och angivet nedan. T och S värden är uppmätta i dessa två punkter.

Scenariot som har antagits är en havsvattennivå på +1,60 under 7 dygn.

7.6.1 Slutna akviferer

För en sluten akvifer används formeln i kapitel (5.10.1).

Provborrhål	Avstånd (x) [m]	T-värde [m ² /s]	S-värde [%]	Amplituden (H ₀) [m]	HHW _{Dim} med säkerhetsfaktor $\gamma=1,4$ [m]
06.1.2002	470	$5.56 \cdot 10^{-4}$	$6.64 \cdot 10^{-4}$	1.60	2,2
06.1.2005	706	$1.02 \cdot 10^{-4}$	$5.17 \cdot 10^{-3}$	1.60	2,2

Tabell 7.1 – Värden för slutna akviferer

Beräkningar för slutna akviferer med H_0 som amplituden:

$$H_x = H_0 \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}\right)$$

Provborrhål: 06.1.2002

$$H_x = 1,6 * e^{\left(-470 * \sqrt{\frac{\pi * 6,64 * 10^{-4}}{604800 * 5,56 * 10^{-4}}}\right)} \Rightarrow H_x = 0,496 \text{ m}$$

Provborrhål: 06.1.2005

$$H_x = 1,6 * e^{\left(-706 * \sqrt{\frac{\pi * 5,17 * 10^{-3}}{604800 * 1,02 * 10^{-4}}}\right)} \Rightarrow H_x = 1,69 * 10^{-5} \approx 0 \text{ m}$$

100 meter in från havet med antagna värden från provborrhål 06.1.2002

$$H_x = 1,6 * e^{\left(-100 * \sqrt{\frac{\pi * 6,64 * 10^{-4}}{604800 * 5,56 * 10^{-4}}}\right)} \Rightarrow H_x = 1,25 \text{ m}$$

Beräkningar för slutna akviferer med H_0 som HHW_{Dim} .

Provborrhål: 06.1.2002

$$H_x = 2,2 * e^{\left(-470 * \sqrt{\frac{\pi * 6,64 * 10^{-4}}{604800 * 5,56 * 10^{-4}}}\right)} \Rightarrow H_x = 0,682 \text{ m}$$

Provborrhål: 06.1.2005

$$H_x = 2,2 * e^{\left(-706 * \sqrt{\frac{\pi * 5,17 * 10^{-3}}{604800 * 1,02 * 10^{-4}}}\right)} \Rightarrow H_x = 3,43 * 10^{-3} \approx 0 \text{ m}$$

100 meter in från havet med antagna värden från provborrhål 06.1.2002

$$H_x = 2,2 * e^{\left(-100 * \sqrt{\frac{\pi * 6,64 * 10^{-4}}{604800 * 5,56 * 10^{-4}}}\right)} \Rightarrow H_x = 1,7 \text{ m}$$

7.6.2 Öppna akviferer

Efter studier av gamla undersökningar i området vid de två borrhålarna fick vi fram siktkurvor som, med hjälp av Hazen:s formel (se kapitel 5.9), kan användas vid beräkning av hydraulisk konduktivitet i närområdet.

För området kring provborrhål 06.1.2002 avlästes ett värde på $d_{10} = 0,125 \text{ mm}$. Jordarten bedöms vara mellansand vilket leder till $C = 0,01$ och porositeten 32 %.

$$K = 0,01 * d_{10}^2 = 0,01 * 0,125^2 = 1,563 * 10^{-4}$$

För området kring provborrhål 06.1.2005 är siktkurvan flack. Därmed väljer vi tabellvärden för mellansand.

Provborrhål	Avstånd till havet (x) [m]	Hydraulisk konduktivitet K (m/s)	Porositet n [%]	Akviferens mäktighet d [m]
06.1.2002	470	$1,563 * 10^{-4}$	10%=0,10	4 m
06.1.2005	706	$1 * 10^{-9}$	10%=0,10	5 m

Tabell 7.2 – Värden för öppna akviferer

Beräkningar för slutna akviferer med H_0 som amplituden:

Provborrhål: 06.1.2002

$$K = 1,563 * 10^{-4}$$

$$n = 0,10$$

$$\frac{1}{2} * \sqrt{\frac{0,10}{1,563 * 10^{-4} * 4}} = 6,32$$

$$6,32 * \frac{x}{\sqrt{604800}} = 0,008 * x$$

$$y(x) = 1,60 * \operatorname{erfc}(0,008 * x)$$

$$y(470) = 1,60 * \operatorname{erfc}(0,008 * 470) \approx 1,6 * 0,01 \approx 0 \text{ m}$$

Provborrhål: 06.1.2005

$$K = 1 * 10^{-9}$$

$$n = 0,10$$

$$\frac{1}{2} * \sqrt{\frac{0,10}{1 * 10^{-9} * 5}} = 2236$$

$$2236 * \frac{x}{\sqrt{604800}} = 2,88 * x$$

$$y(x) = 1,60 * \operatorname{erfc}(2,88 * x)$$

$$y(706) = 1,60 * \operatorname{erfc}(2,88 * 706) \approx 1,60 * 0 = 0 \text{ m}$$

100 meter in från havet med antagna värden från provborrhål 06.1.2002

$$y(x) = 1,60 * \operatorname{erfc}(0,008 * x)$$

$$y(100) = 1,60 * \operatorname{erfc}(0,008 * 100) \approx 1,6 * 0,25 = 0,4 \text{ m}$$

Beräkningar för öppna akviferer med HHW_{Dim} :

Vid beräkningar med HHW_{Dim} istället för HHW blir resultatet detsamma för de två första provborrhålen då värdet multipliceras med noll.

100 meter in från havet med antagna värden från provborrhål 06.1.2002

$$y(100) = 2,2 * \operatorname{erfc}(0,008 * 100) \approx 2,2 * 0,25 = 0,55 \text{ m}$$

7.7 Långtidseffekter på grundvattnet vid havsvattenförändringar

En långvarig ökning av havsvattennivån kommer att ge en permanent grundvattenhöjning. Vid en högre havsvattennivå kommer motsvarande grundvattenhöjning att vara densamma i kustnära områden. [22] Detta bekräftas av ovanstående beräkningar vid insättning av $t = 100$ år. En ökning med 0,72 m i havet leder till en grundvattennivåökning med 0,72 m.

7.8 Jordartsmodell för södertunneln

Av de provborrningar och undersökningar som gjorts har en konceptuell jord och bergartsmodell tagits fram. Denna ligger som bilaga 2 och är framtagen av Henrik Möller, Tyréns AB.

8 Diskussion

I kapitlet sammanställs resultaten och diskussion förs angående resultaten.

8.1 Regnmängder

Idag har Helsingborg en infiltrerbar regnmängd på 234 mm per år.

Om 100 år bedöms Helsingborg ha en infiltrerbar regnmängd på 222 mm per år.

Resultatet är att om 100 år beräknas Helsingborg ha 12 mm mindre infiltrerbar mängd vatten per år än idag. Alltså en ökad nederbörd kommer att påverka grundvattenbildningen minimalt med tanke på att avdunstningen samtidigt kommer att öka i samma takt.

Dessa resultat styrks av SMHI:s scenarier som visar att grundvattennivån kommer att sänkas p.g.a. ett torrare klimat i södra Sverige. [7]

8.2 Havsnivån

Havsvattennivån kommer enligt flera källor att stiga med ca 0,7 meter de kommande 100 åren. Eftersom det är så lång tid får detta till följd att grundvattennivån stiger med samma värde i kustnära områden.

Kortvariga fluktuationer på havsvattennivån kommer att ha inverkan på grundvattennivån både i öppna och slutna akviferer.

Pumpborrhål 06.1.2002

På en sluten akvifer 470 meter från kustlinjen kan, vid en tillfällig havsvattenhöjning på 1,60 meter i 7 dagar, en grundvattenhöjning på 0,496 meter ske. Motsvarande värde på en öppen akvifer blir 0 meter.

Pumpborrhål 06.1.2005

På en sluten akvifer 706 meter från kustlinjen kan, vid en tillfällig havsvattenhöjning på 1,60 meter i 7 dagar, en grundvattenhöjning på 0 meter. På en öppen akvifer blir resultatet detsamma.

Motsvarande värden med säkerhetsfaktor (HHW_{Dim}) blir:

Borrhål	Sluten akvifer	Öppen akvifer
Pumpborrhål 06.1.2002	0,682 m	0 m
Pumpborrhål 06.1.2005	0 m	0 m
100 meter från havet	1,7 m	0,55 m

Tabell 8.1 – Resultat havsnivåns kortvariga påverkan

8.3 Sammanställt resultat

Då medelhavsvattennivån (MW) är +0,07 nu, kan MW bli ca: +0,77 om 100 år.

HHW-nivån om 100 år kan komma upp till +2,3.

Grundvattennivån kan tänkas ligga på en nivå 0,7 meter över dagens grundvattennivå om 100 år. Kortsiktiga temporära höjningar av havsvattennivån kommer inte att få någon effekt på grundvattennivån med avseende på öppna akviferer. Men vid slutna akviferer kan man få upp till $0,7+0,6=1,3$ m högre grundvattennivå än idag.

Vid det aktuella området bör det adderas någon decimeter på grundvattenhöjningen med avseende på topografiska lokala avvikelser.

8.4 Jämförelse med Citytunneln Malmö

I Malmö är projekt Citytunneln igång. Projektet syftar att binda samman centralstationen, triangeln centrum och Öresundsbron, så att det kan gå fler och snabbare tåg mellan Malmö och Köpenhamn.

När Citytunneln projekterades togs värden fram för högsta högvattennivå: [15]

Namn	Förkortning	Nivå
Högsta högvattennivå	HHW	+1,91
Medelhögvattennivå	HW	+1,21
Medelvattennivå	MW	+0,11
Medellågvattennivå	LW	-0,59
Lägsta lågvattennivå	LLW	-0,99

Tabell 9.1 – Vattennivåtabell i Malmö

Till dessa värden gjordes en prognos att en höjning av vattennivån med 0,41 m under kommande 100 år var att vänta.

Dessa värden ledde till en HHW_{dim} på:

$$HHW_{dim} = 0,11 + 1,12(1,91 - 0,11) = 2,126$$

Då prognosen adderas får man ett värde på:

$$HHW_{dim} = 0,52 + 1,12(2,32 - 0,52) = 2,536$$

9 Slutsatser

Den parameter som mest påverkar grundvattennivån är havsvattennivån vid det aktuella området.

9.1 Regnmängder

Vid jämförelse av de framtida grundvattenbildningarna från regnmängder jämfört med de nutida grundvattenbildningarna anser vi att vi inte får någon större förändring.

Resultatet har diskuterats med representanter på SIG, SGU och Allan Rodhe (professor Uppsala Universitet) som alla säger att resultatet verkar riktigt. Sten Bergström (SMHI) har även gjort liknande undersökningar för hela Norden och kommit fram till liknande resultat.

9.2 Havsvattennivå

Om 100 år kommer grundvattennivån att ändras lika mycket som havsvattennivån vid kustnära områden som inte har stora topografiska skillnader. SMHI:s prognos för havsvattenökningen är 0,7 m.

Kortsiktigt kan en grundvattennivå i slutna akviferer höjas med 1,7 m vid en punkt 100 m från havet och i öppna akviferer 0,55 m.

Aktuella värden för högsta högvattennivå finns att läsa i Diagram 6.2.

9.3 Dimensionerande grundvattennivå

En lämplig dimensionerande grundvattennivå har inte tagits fram. Då detta bör göras med fler påverkande variabler: topografi, extremnederbörd, ekonomi och säkerhet.

Referenser

1. *Helsingborg - Järnvägstunnlar 060607*
<http://www.helsingborg.se/upload/Nyheter/Järnvägstunnlar%20060607.pdf>
Hämtat: 2008-02-27
2. *SMHI - Nederbörd*
<http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=6415&l=sv>
Hämtat: 2008-02-28
3. *SMHI - Temperatur*
<http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=6413&l=sv>
Hämtat: 2008-02-28
4. *Sveriges Geologiska Undersökningar - Grundvatten*
<http://www.sgu.se/sgu/sv/samhalle/grundvatten/index.html>
Hämtat: 2008-02-28
5. *Grundvatten teori & tillämpning*
Gert Knutsson och Carl-Olof Morfeldt
Svensk Byggtjänst, Stockholm 1995
6. *Analysis of groundwater flow*
A.J. Raudkivi och R.A. Callander
John Wiley & Sons, London 1976
7. *Konsekvenser av klimatförändringen*
<http://www.smhi.se/sgn0106/klimat/konsekvenser.htm>
Hämtat: 2008-05-09
8. *SMHI - Klimat*
<http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=5232&l=sv>
Hämtat: 2008-03-05
9. *SMHI - Sveriges framtida klimat*
<http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=8785&l=sv>
Hämtat: 2008-03-05
10. *Statens Geotekniska Institut – Handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor i Sverige vid förändrat klimat*
http://www.swedgeo.se/upload/Publikationer/%C3%96vrigt/pdf/SGI_JORIKS-delrapport.pdf
Hämtat: 2008-03-06

11. Nationalencyklopedin

<http://www.ne.se/>

Hämtat: 2008-03-12

12. Bergkross som filtermaterial vid vattenbehandling

http://www.lwr.kth.se/publikationer/PDF_Files/LWR_EX_05_15.PDF

Hämtat: 2008-05-13

13. SMHI – Extrem nederbörd 1900 – 2004

http://www.smhi.se/content/1/c6/02/35/26/attachments/extremnbd_uppd.pdf

Hämtat: 2008-03-13

14. Analys av grundvattennivåer vid undermarksbyggande i urban miljö.

Examensarbete vid institutionen för mark- och vattenresurser KTH.

http://www.lwr.kth.se/Publikationer/PDF_Files/AMOV_EX_2001_32.pdf

Annika Lundmark

Hämtat: 2008-03-25

15. Citytunneln. Allmänna förutsättningar

http://www.citytunneln.se/upload/Dokumentbank/03_Allm%C3%A4nna_f%C3%B6ruts%C3%A4ttningar_03-10-03-03-13-06.pdf

Hämtat: 2008-03-26

16. Applied Hydrogeology, Fourth Edition.

C.W Fetter

Prentice Hall cop. Upper saddle river, New Jersey 2001

17. Grundvattenbildning i svenska typjordar-översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell.

Allan Rodhe et al.

Institutionen för geovetenskaper Uppsala universitet 2006

18. Fukthandbok – praktik och teori

Lars Erik Nevander och Bengt Elmarsson

Elanders Infologistics Väst AB, Mölnlycke 2006

19. ATB VÄG 2005 – kapitel A

http://www.vv.se/filer/30745/kapitel_a_gemensamma_forutsattningar_2005.pdf

Hämtat: 2008-04-10

20. ATB VÄG 2005 – kapitel C

http://www.vv.se/filer/30745/kapitel_c_dimensionering_2005.pdf

Hämtat: 2008-04-15

21. Vatten, Tidskrift för vattenvård.

Författare: Lars Bengtsson LTH

Årgång 64 Nr 1 2008.

22. Stigande havsnivå – konsekvenser för fysisk planering, Länsstyrelsen

Projektledare Mats Åkesson samt Anna Kristensson, Anne-Lie Mårtensson,

Carina Burelius och Christer Persson

Utgiven av Länsstyrelserna i Skåne och Blekinge

Tryckt av Länsstyrelsen i Skåne, Kristianstad 2008

23. Geoteknisk undersökning, projekteringsunderlag, Norra hamnen

Utförd av: KM Kjessler & Mannerstråle

Helsingborg 1997-06-23

24. Tabellverk

Jahnke Emde 1945

Figur 3.1 – Översiktsbild, från Söderprojektet, Malin Jonsson

Figur 4.1- Översiktsbild Helsingborg, från Söderprojektet, Malin Jonsson

Figur 4.2 – Västkustbanan, från banverket

Figur 5.1 – Jordzon, Martin Hjelmér

Figur 5.2 – Öppen och sluten Akvifer, boken Grundvatten teori & tillämpning

Figur 5.3 – Havsnivåns inverkan på sluten Akvifer, boken Applied

Hydrogeology

Figur 5.4 – Havsnivåns inverkan på öppen Akvifer, boken Analysis of groundwater

Figur 5.5 – Återinfiltration, Citytunneln Malmö, Karin Nilsson

Figur 5.6 – Cut-and-coverprincipen, från Söderprojektet, Malin Jonsson

Figur 7.1 – vattenbalans, Jalmar Sternheden

Diagram 6.1 – Månadsnederbörd, data från VA-verket i Helsingborg sammanställt av Martin Hjelmér

Diagram 6.2 – HHW och LLW, data från Helsingbords hamn AB och en rapport från KM sammanställt av Martin Hjelmér

Diagram 6.3 – Temperatur, data från SMHI sammanställt av Martin Hjelmér

Diagram 6.4 – Nederbördsförändring, SMHI

Diagram 6.5 – Nederbörd om 100 år, data från VA-verket i Helsingborg prognos från SMHI sammanställt av Martin Hjelmér

Diagram 6.6 – Ökning av extremnederbörd, SMHI

Diagram 6.7 – Havsnivåns fluktuation, data från Helsingborgs hamn AB sammanställt av Martin Hjelmér och Jalmar Sternheden
Diagram 6.8 – Temperaturförändringar, SMHI
Diagram 7.1 – regnmängd och avdunstning idag, data från SMHI och VA-verket i helsingborg sammanställt av Martin Hjelmér
Diagram 7.2 – regnmängd och avdunstning om 100 år, data från SMHI och VA-verket i helsingborg prognos från SMHI sammanställt av Martin Hjelmér
Diagram 7.3 – Havsnivåförändring, data från Helsingborgs Hamn AB sammanställt av Martin Hjelmér och Jalmar Sternheden
Diagram 7.4 – Standardavvikelse, data från helsingborgs Hamn AB sammanställt av Martin Hjelmér

Tabell 5.1 – Hydraulisk konduktivitet

Tabell 5.2 – Säkerhetsklasser Vägverket [19]

Tabell 6.1 – Havsvattennivån i Helsingborg, data från Helsingborgs Hamn AB sammanställt av Martin Hjelmér och Jalmar Sternheden

Tabell 7.1 – Värden för slutna akviferers beräkningar

Tabell 7.2 – Värden för öppna akviferers beräkningar

Tabell 8.1 – Havsnivåns kortvariga påverkan

Tabell 9.1 – Vattennivåer i Malmö, Citytunneln Malmö, Karin Nilsson

- a) Intervju med Malin Johnsson, informationsansvarig, Söderdelegationen.
- b) Mailkontakt med Else-Marie Wingqvist, SMHI.
- c) Helsingborgs Hamn AB, Arne Jensen. den 26 mars 2008.
- d) VA-verket Örby, Lars Stefansson den 21 april 2008
- e) SMHI, Sten Bergström den 14 maj 2008
- f) Uppsala Universitet, Allan Rodhe den 14 maj 2008

Bilagor

Bilaga 1

Tyréns karta över området med borrhål inritade.

Bilaga 2

Jordartsmodell, Henrik Möller