

---

# KOMPLETTERANDE PM – FÖRTYDLIGANDE AV HANDLINGSPLAN FÖR SKYDD MOT STIGANDE HAVSNIVÅER

---

Vellinge kommun  
Uppdragsnummer 1220091000

---



Malmö 2012-01-25

**Sweco Environment AB**  
Malmö Kust och Vattendrag

Författare:

Sebastian Irminger Street

Granskare:

Olof Persson

1 (35)

**Sweco**  
Hans Michelsensgatan 2  
Box 286, 201 22 Malmö  
Telefon 040-16 70 00  
Telefax 040-15 43 47  
www.sweco.se

Sweco Environment AB  
Org.nr 556346-0327  
säte Stockholm  
Ingår i Sweco-koncernen

Sebastian Irminger-Street  
Civilingenjör  
Telefon direkt 040-16 70 15  
Mobil 072-216 35 03  
sebastian.irminger@sweco.se

2 (35)

KOMPLETTERANDE PM –  
FÖRTYDLIGANDE AV HANDLINGSPLAN  
FÖR SKYDD MOT STIGANDE  
HAVSNIVÅER  
2012-01-25

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>4</b>
1.1	Struktur	4
<b>2</b>	<b>Vattengenomströmning hos ett jordmaterial</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Inre skyddsringen</b>	<b>6</b>
3.1	Läckage av vatten genom vallen (inre skyddsringen)	9
3.2	Erosion av inre skyddsring	10
3.3	Markstabilitet under skyddsringen	10
<b>4</b>	<b>Yttre skyddsringen</b>	<b>11</b>
4.1	Motverka erosion av yttre skyddsringen	14
4.2	Beräkning av sand till strandfodring	16
<b>5</b>	<b>Dagvattenhantering</b>	<b>20</b>
5.1	Storlek av fördröjningsmagasin	21
<b>6</b>	<b>Grundvattenhantering</b>	<b>24</b>
6.1	Åtgärder	28
<b>7</b>	<b>Saltvatteninträngning</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>Åtgärdernas samlade effekt</b>	<b>34</b>
	<b>Referenser</b>	<b>35</b>

## 1 Inledning

Föreliggande PM har upprättats för att förtydliga och ytterligare belysa delar av Vellinge kommuns handlingsplan för skydd mot stigande havsnivåer. Förtydligandet görs mot bakgrund av yttrande ifrån Länsstyrelsen i Skåne län, där farhågor om handlingsplanens genomförbarhet och hållbarhet framförts. Föreliggande PM innebär inte några förändringar i den tilltänka handlingsplanen, utan är ett förtydligande dokument.

### 1.1 Struktur

Föreliggande PM inleds med ett kort kapitel om vad som påverkar vattens strömning genom ett jordmaterial. En förståelse av hur jordmaterialets egenskaper påverkar vattengenomströmningen är viktig för att kunna bedöma hållbarheten hos de föreslagna åtgärderna. Kapitlet avslutas med en kort beskrivning av egenskaperna hos den sand som ligger längs Falsterbohalvöns stränder.

I de efterföljande kapitlen belyses de föreslagna åtgärderna. Först presenteras den inre skyddsringen, vilken följs av en presentation av den yttre skyddsringen. Därpå följer dagvattenhantering, grundvattenhantering och saltvatteninträngning, och i sista kapitlet ges en beskrivning av hur de olika åtgärderna samverkar och är beroende av varandra för att uppnå bästa resultat.

## 2 Vattengenomströmning hos ett jordmaterial

Ett jordmaterial består av såväl fasta jordpartiklar som hålrum mellan partiklarna. Hålrumsvolymen, vilken benämns *porositet*, är den avgörande faktorn för hur lätt eller svårt det är för vatten att rinna genom jordmaterialet.

Porositet kan antingen anges som *total porositet* eller *effektiv porositet*. Den totala porositeten anger den totala hålrumsvolymen som finns inom ett jordmaterial, medan den effektiva porositeten endast avser jordmaterialets sammanhängande hålrumsvolym. En hög total porositet är därför inte nödvändigtvis det samma som hög effektiv porositet, då den totala porositeten till stor del kan utgöras av enskilda porer som inte är i förbindelse med varandra. Eftersom vatten huvudsakligen tar sig fram via den sammanhängande hålrumsvolymen kommer ett jordmaterial med många, men osammanhängande, hålrum leda vatten betydligt sämre än ett material med färre, men mer sammanhängande, hålrum. Den effektiva porositeten är därför den parameter som avgör hur pass lätt eller svårt det är för vatten att rinna genom ett jordmaterial.

Den effektiva porositeten i ett material avgörs av storleken på kornen i materialet. För en sand är den effektiva porositeten som störst vid korndiametrar mellan 1-2 mm (korndiametern definieras här av måttet  $d_{10}$ , den diameter som 10 % av sandkornen underskrider). I en sand med diameter mindre än 1 mm avtar den effektiva porositeten snabbt, och därmed även den vattenledande förmågan hos sanden. Sandprover från Skanör visar att sanden där har ett  $d_{10}$ -mått av cirka 0,2 mm, vilket betyder att sanden har en relativt låg effektiv porositet och därmed även relativt låg vattenledande förmåga. Att tänka sig Falsterbonäsets sand som ett starkt genomsläppligt jordmaterial, genom vilket vatten kan rinna på ett okontrollerbart sätt, är därför felaktigt. En viss genomströmning förekommer, men det motstånd mot genomströmning som sanden bjuder, tillsammans med det faktum att Falsterbonäsets flacka topografi inte tillåter några stora tryckgradienter för att driva grundvattenflödet, innebär att flödet kan hanteras med hjälp av dräneringar och pumpning.

### 3 Inre skyddsringen

Det föreslagna läget för den inre skyddsringen vid Skanör-Falsterbo, Ljunghusen och Höllviken visas i Figur 1-Figur 3. Den inre skyddsringen utnyttjar befintliga barriärer så som vägar eller banvallar om så är möjligt. Komplettering av ringen föreslås ske med stödmur eller valliknande konstruktion.



**Figur 1** *Föreslaget läge för den inre och yttre skyddsringen (röd respektive grön) vid Skanör-Falsterbo.*



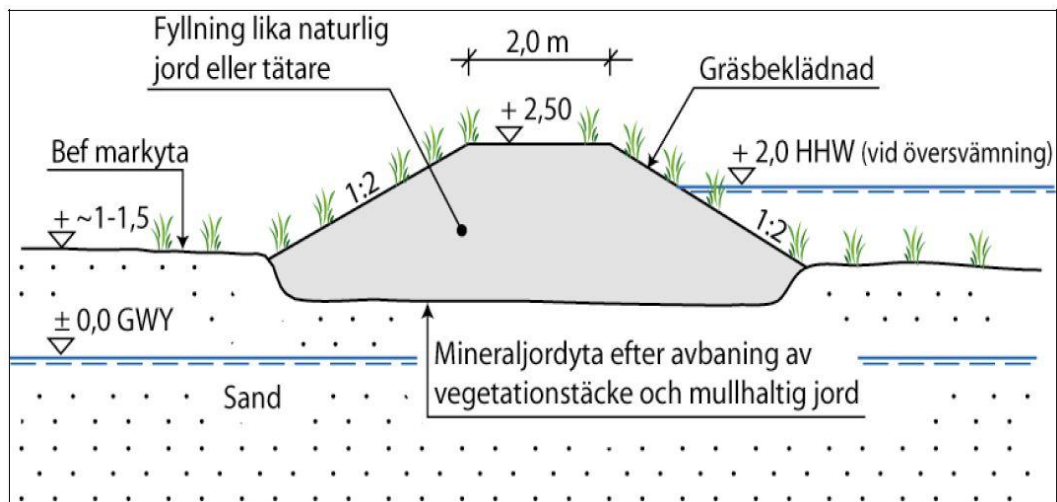
**Figur 2** *Föreslaget läge för den inre och yttre skyddsringen (röd respektive grön) vid Ljunghusen.*



**Figur 3** *Föreslaget läge för den inre skyddsringen vid Höllviken*

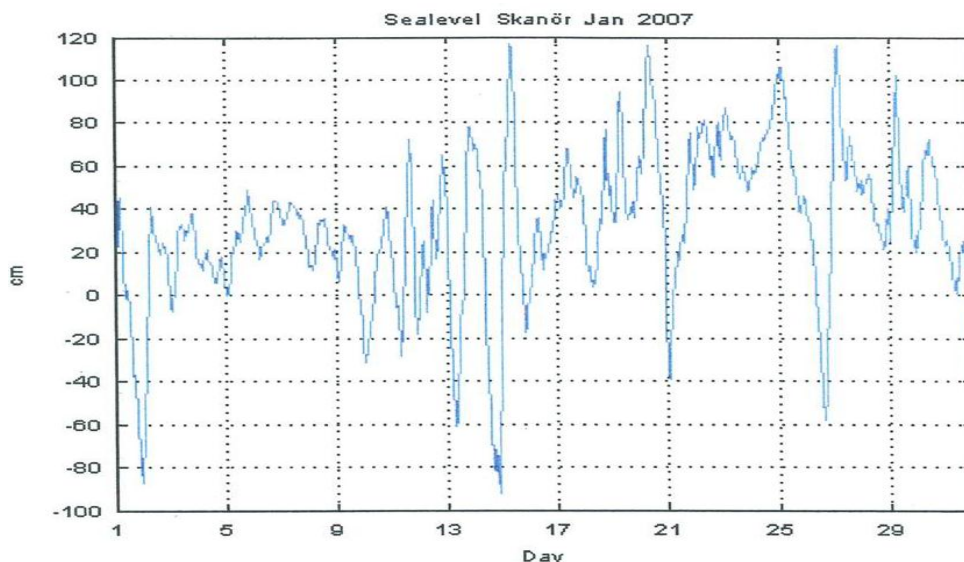


En principiell bild av den vall som föreslagits visas i Figur 4. Det understryks att bilden inte ska ses som en detaljrättning, utan visar principen för hur en vegetationsvall föreslås utformas.



**Figur 4** *Principiell bild av en valls utformning.*

Vallens huvudsakliga uppgift är att utestänga kortvariga högvatten i Öresund så att tätortsbebyggelsen inte hotas av översvämningar. En mätserie av vattenståndet från januari 2007 visar att vattenståndsvariationer kan ske snabbt, men också att höga vattenstånd är kortvariga (endast få timmar). Vatten kommer således endast stå upp mot vällen under korta perioder.



**Figur 5** *Vattenståndsvariationer i Skanör, januari 2007. Variationerna sker snabbt, men högvattenstånden varar endast få timmar.*



### 3.1 Läckage av vatten genom vallen (inre skyddsringen)

Risken för att vatten tränger igenom den föreslagna vallen vid dessa kortvariga högvattensituationer har undersökts. I beräkningarna har det antagits att vallen är 7,5 m vid basen, och att släntlutningen är 1:2.

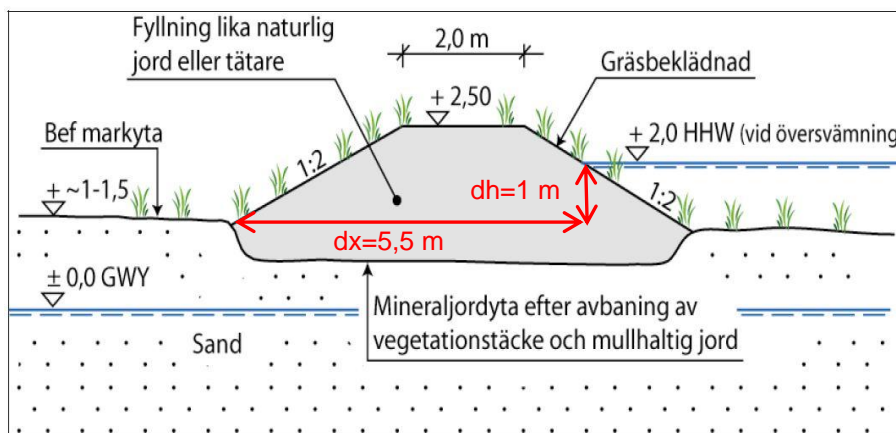
Rinnhastigheten genom ett jordmaterial beskrivs av Darcys lag:  $v = k * \frac{dh}{dx}$ .

Tidigare undersökningar av jorden på Falsterbonäset visar att den hydrauliska konduktiviteten ( $k$ ) är ca  $k=3 \cdot 10^{-4}$  m/s (VIAK, 1985). Detta bekräftades även av sandprover ifrån Skanör, vilka visade på liknande värden.

Vattnets tryckgradient ( $\frac{dh}{dx}$ ) bestäms av förhållandet mellan hur högt vattnet står på ena sidan vallen och hur långt det är till vallens fot på andra sidan. I den tänkta situationen av vatten 1 m upp på vallen, en vallbas som är 7,5 m bred och en lutning 1:2 ger det en tryckgradient på  $1/5,5=0,18$ . Att  $dx$  sätts till 5,5 m istället för 7,5 m gör att beräkningen är konservativ. Genomströmningshastigheten med givna förutsättningar är

$$v = k * \frac{dh}{dx} = 3 * 10^{-4} * \frac{1}{5,5} = 0,000055 \text{ m/s}$$

Med denna hastighet tar det 28 timmar för vattnet att strömma 5,5 m genom vallen. Då högvattenstånden bara varar några få timmar bedöms genomströmning inte vara något problem.



Figur 6 Beskrivning av hur vattnets tryckgradient har bestämts.

### 3.2 Erosion av inre skyddsring

Erosion av vallen bedöms inte vara ett problem, förutsatt att vallen utförs på ett korrekt sätt. Vallar på andra platser står emot betydligt hårdare vågklimat än det som förväntas råda på Falsterbonäset, exempelvis vallar längs Danmarks och Hollands kuster.

En styrka med en vallkonstruktion är att den lätt kan anpassas till nya omständigheter. Då framtiden är oviss är det viktigt att de förslagna åtgärderna kan utvecklas och förändras i takt med att nytt kunnande och nya tekniska lösningar utvecklas. Exempel på möjliga åtgärder för att möta förändrade omständigheter presenteras i Tabell 1.

**Tabell 1** *Möjliga åtgärder för att anpassa vallen till nya förhållanden. I rubrikraden anges vilken förändring som avses, och i varje kolumn syns exempel på åtgärder som kan appliceras på befintlig vall.*

<b>Möjliga anpassningar av befintliga vallar vid</b>		
<u>Förhöjda vattenstånd:</u>	<u>Genomströmning:</u>	<u>Förändrade erosionsförhållanden:</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vallen kan göras högre genom att mer material påförs vallen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ett lerlager på vallen gör den mindre permeabel.</li> <li>- Vertikal dränering kan installeras.</li> <li>- Dränering på insidan vid vallens fot.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minskad framslutningen minskar erosion.</li> <li>- Armera marken med nät.</li> <li>- Hårda erosionskydd begravs i vallen</li> </ul>

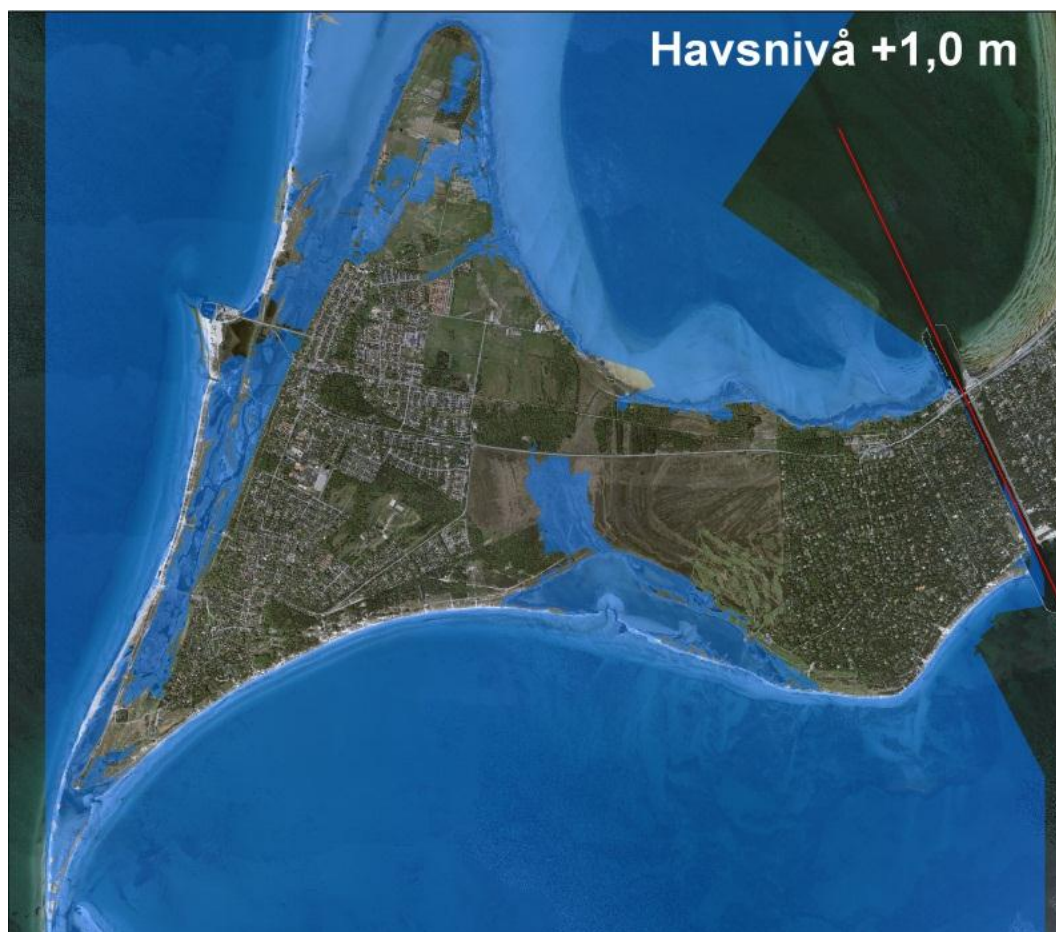
### 3.3 Markstabilitet under skyddsringen

Falsterbohalvön består av friktionsjordar (sand). Stabilitetsbrott vid byggnation på friktionsjordar är osannolikt eftersom det ökade trycket från konstruktionen leder till ökad friktion mellan sandkornen, och därmed ökad hållfasthet. Stabilitetsbrott till följd av skyddsringen bedöms därför inte som sannolikt.

#### 4 Yttre skyddsringen

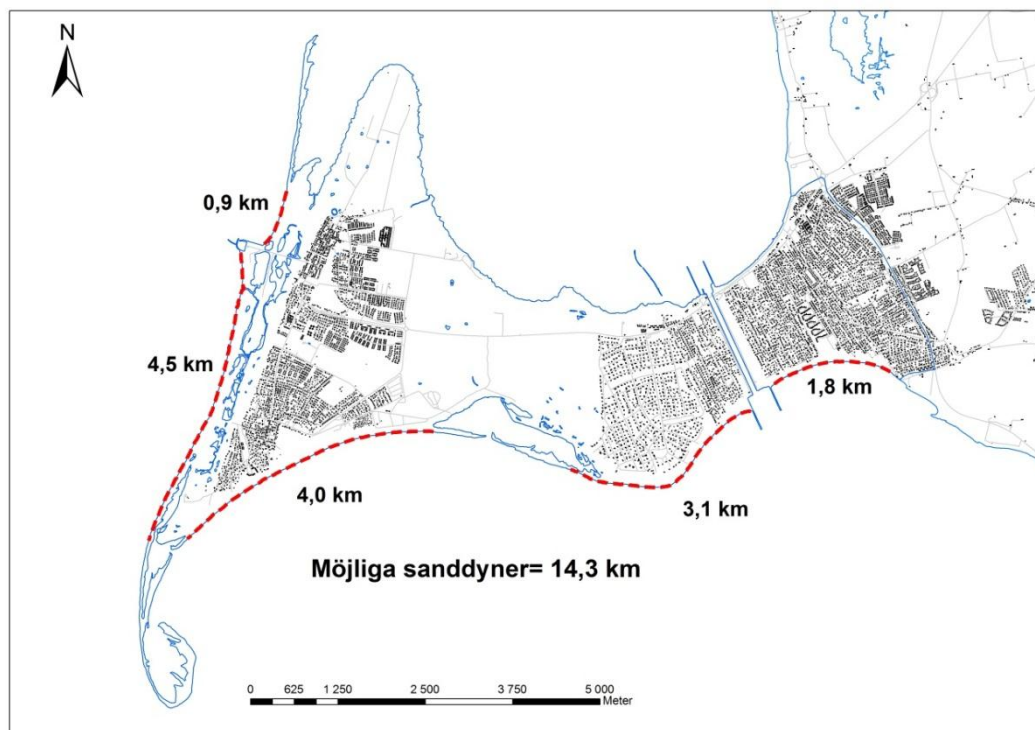
Den yttre skyddsringen som föreslagits ska fungera som ett långsiktigt skydd mot stigande havsmedelnivåer. I de fall naturliga sandklitter förekommer längs sandstränderna inkluderas dessa i skyddsringen, och kompletteras längs övriga sträckor med en vegetationsvall.

Av Figur 7 framgår varför en yttre skyddsring på sikt kan bli nödvändig. Figuren visar de områden som svämmas över om ingen åtgärd vidtas vid en havsmedelnivå på +1,0 m.



**Figur 7** Områden som svämmas över vid en havsnivå +1,0 m, om inga åtgärder vidtas.

Av Figur 8 framgår sträckor där det i dagsläget finns sandstränder, och där det kan bli aktuellt att använda sandklitter som del av skyddsringen. Undantaget är stranden i Höllviken på nordöstra sidan av Falsterbonäset, där det inte finns några klitter och en vegetationsvall därmed är att föredra. Totalt rör det sig som cirka 14,5 km strand med strandklitter.



**Figur 8** Sandstränder längs Falsterbokusten där sandstränder finns i dagsläget, och där sandklitter kan utgöra en del av den yttre skyddsringen. Vid stranden i Höllviken på nordöstra sidan av Falsterbohalvön saknas sandklitter, och en vegetationsvall kan därför vara mer fördelaktig. Därmed rör det sig om cirka 14,5 km strandklitter.

Exempel på hur yttre skydd mot havet ser ut på olika platser i Europa presenteras i Figur 9-Figur 11. Figur 9 är ett foto från dagens sandklitter på Falsterbonäset, och är en god illustration av hur kommunen önskar att klitterdelen av skyddsringen ska se ut även i framtiden. Figur 10 och Figur 11 visar vegetationsvallar ifrån Danmarks respektive Hollands kuster. Vid den danska vallen finns ett flackt område mellan vallen och havet, vilket normalt inte ligger under vatten men tillåts översvämmas vid höga vattenstånd. Den holländska vallen visar istället hur vatten i princip alltid står vid vallens fot. De två bilderna visar tydligt att en vegetationsvall med hjälp av goda tekniska lösningar kan anpassas till att motstå de specifika påfrestningar som råder vid vallens läge. Det bör understrykas att vare sig den danska eller den holländska vallen utgör någon exakt visualisering av hur vallarna kring Falsterbonäset kommer att se ut, utan avser visualisera att vallar med skiftande förutsättningar redan idag motstår havet på flera håll i Europa.





**Figur 9** *Dagens strandklitter vid Falsterbonäset. Framför klitterna ligger ett brett strandplan.*



**Figur 10** *Vegetationsvall vid Römö, längs Danmarks västkust. Framför vallen finns ett låglänt område som betas av får, och vilket tillåts svämmas över vid högvatten. Bilden visar att låglänta områden utanför en skyddsvall mycket väl kan tillåtas svämma över utan att detta hotas vallen.*



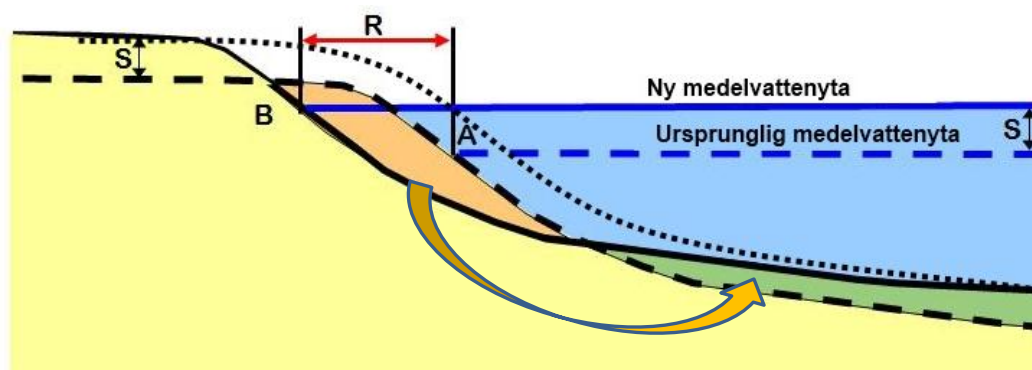
**Figur 11** *Vegetationsvall längs Hollands kust. Framför denna vall finns inget låglänt område, utan vatten går i princip ända fram till vallens fot. Tillsammans med föregående bild visar detta att vallar redan i dagsläget med hjälp av tekniska lösningar anpassas till de specifika behov som råder vid den enskilda platsen.*

#### 4.1 Motverka erosion av yttre skyddsringen

Hur vallar kan utformas och anpassas till förändrade vattenstånd, erosionsförhållanden och vattengenomströmning har beskrivits i kapitel 3.2. Samma principer gäller för vallar i den yttre skyddsringen som i den inre, även om de specifika beräkningarna naturligtvis är knutna till de specifika förhållandena för den inre skyddsringen. Dessa aspekter diskuteras därför inte ytterligare en gång för vallarna i den yttre skyddsringen.

För strandklitternas vidkommande innebär en stigande havsmedelnivå en erosion av strandlinjen. Erosionen är en reaktion på den högre havsnivån, och har ingenting med ett hårdare väderklimat att göra. Principen kallas Bruuns lag, och bygger på att ett specifikt förhållande råder mellan havets medelvattenstånd och en strands profil. Om havsmedelnivån förändras kommer stranden sträva efter att återställa det specifika förhållandet genom att "följa efter" i havets höjning. Stranden kan inte följa havets höjning rakt uppåt, eftersom detta hade krävt ett tillskott av sand som inte finns. Istället kommer sand att omfördelas från de övre delarna av strandprofilen till de lägre (Figur 12). Denna omfördelning kommer att pågå tills det gamla förhållandet mellan strandprofil och havsnivå är återställt. Resultatet blir att en stigning av havsmedelnivån innebär att strandprofilen både rör sig uppåt och bakåt. Denna bakåtrörelse genererar en erosion av strandplanet, och ett tillbakadragande av strandlinjen.





**Figur 12** *En sandstrands naturliga reaktion på en stigande havsmedelnivå. För att bevara förhållandet mellan vattenyta och strandprofil vill den ursprungliga (streckade) profilen "följa efter" i havets stigning, i figuren angiven som S. Profilen kan dock inte röra sig rakt uppåt och lägga sig vid den prickiga linjen eftersom detta hade krävt ett tillskott av sand som inte finns, så istället omfördelas sand från den övre delen av profilen till den nedre delen tills den heldragna profillinjen erhålls. I den heldragna profillinjen är det specifika förhållandet mellan den högre vattenytan och den nya profilen återställt, och strandlinjen ha flyttats från punkt A till punkt B. Detta innebär en förflyttning S i höjded och R i längdled.*

I området kring Falsterbo motsvarar en höjning av havsmedelnivån med 1 m ett tillbakadragande av strandlinjen med 70-80 m. En sådan erosion innebär att betydande delar av dagens sandstränder och klittersystem kommer att eroderas bort. Erosionen kan undvikas om vi hjälper stranden att stiga i takt med att havet stiger genom att tillföra den sandmängd som stranden naturligt saknar. Om stranden tillåts växa rakt uppåt i takt med att havsmedelnivån stiger kommer den inte behöva omfördela någon sand från de övre delarna till de lägre delarna, och erosionen av strandplanet kan undvikas. Principen kan ses i Figur 13 och Figur 14.



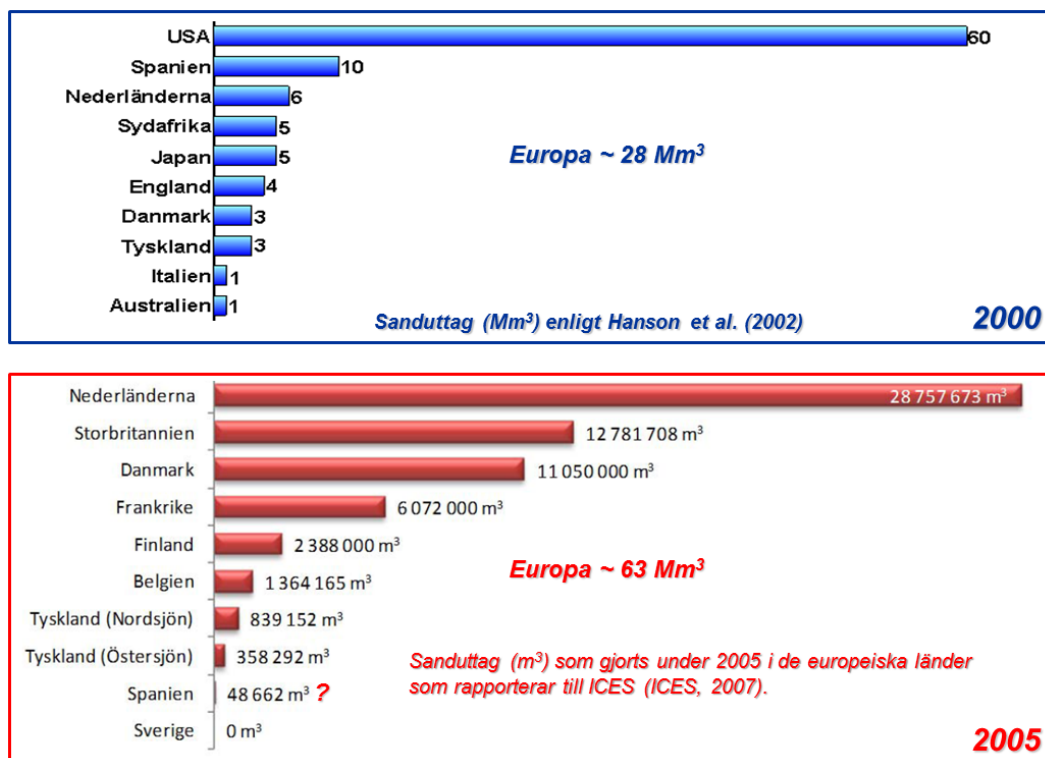
fodringar görs så ofta som varje år, utan snarare med ett par års mellanrum. Erforderliga sandmängder erhålls då lätt genom att multiplicera det årliga fodringsbehovet med förlupen tid sedan föregående fodringstillfälle. I tabellen har även en prisuppskattning inkluderats. Uppskattningen bygger på det pris som betalades vid fodringen i Ystad år 2011; 100 kr/m<sup>3</sup> sand.

**Tabell 2** *Beskrivning av de sandmängder som kommer att behövas för att höja strandprofilerna vid Falsterbonäset motsvarande förvänta havsmedelnivåhöjning. Volymerna beskrivs både som totala volymer om allt skulle läggas ut på en gång och som erforderliga volymer om fodring genomförs varje år.*

	År 2010-2050	År 2050-2100
Höjning	+ 0,3 m	+ 0,7 m
<b>Totala sandmängder, hela perioden</b>		
Sandmängd per km fodrad strand	~0,1 Mm <sup>3</sup> (~10,5 Mkr) <sup>*</sup>	~0,3 Mm <sup>3</sup> (~24,5 Mkr) <sup>*</sup>
Sandmängd, 14,5 km fodrad strand	~1,5 Mm <sup>3</sup> (~150 Mkr) <sup>*</sup>	~3,5 Mm <sup>3</sup> (~350 Mkr) <sup>*</sup>
<b>Sandmängder per fodringstillfälle</b>		
Total sandmängd, fodring varje år	~40 000 m <sup>3</sup> (~4 Mkr) <sup>*</sup>	~70 000 m <sup>3</sup> (~7 Mkr) <sup>*</sup>
Sandmängd per meter och år	~3 m <sup>3</sup> /m,år	~5 m <sup>3</sup> /m,år

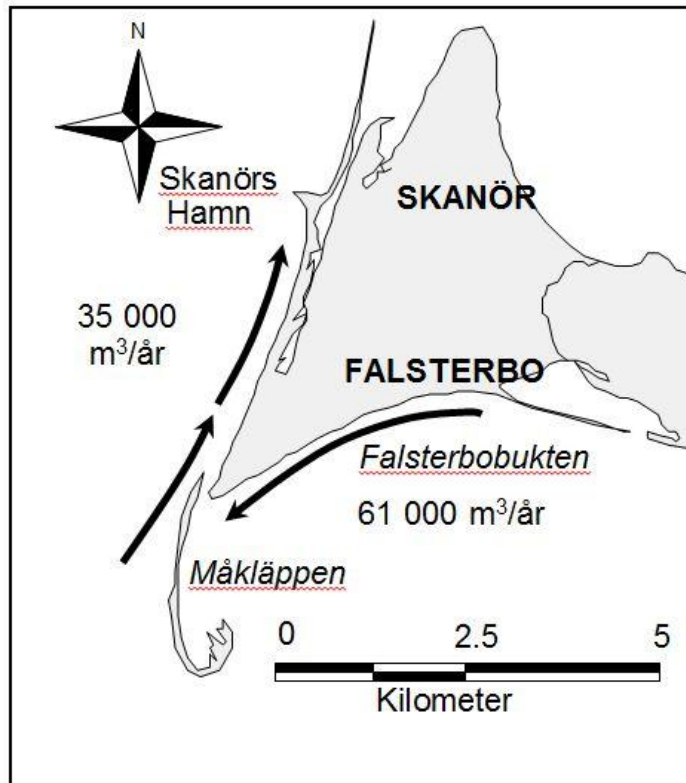
<sup>\*</sup> Referenspris av 100 kr/m<sup>3</sup>, baserat på kostnaderna vid fodring i Ystad, 2011. Vid Ystad användes en teknik som kallas strandplans- och klitterfodring, och som generellt är den dyraste fodringsmetoden.

Med stöd i Tabell 2 kan en relevant jämförelse mellan fodringsbehovet per meter strand och år i Falsterbo och faktiska mängder sand som har lagts ut vid fodringar i övriga Europa göras. En studie vid Lunds tekniska högskola rörande utförda strandfodringar visade att exempelvis Holland mellan år 1991-2000 la ut 20 m<sup>3</sup> sand per år och meter fodrad strand (Hanson, 2002). Detta kan jämföras med de 3-5 m<sup>3</sup>/m,år som kan bli aktuella på Falsterbonäset. Hollands låga läge gör att de i många år har tvingats utveckla metoder för att skydda sig mot översvämningar, och mycket finns att lära genom att titta på deras arbetssätt. Tidigare nämnda studie från LTH undersökte även de totala sandmängder som lades ut på europeiska och amerikanska stränder. Under perioden år 2000-2005 fördubblades mängden sand som lades ut i Europa, ett tecken på att strandfodring allt mer tar över som den dominerande strandskyddsåtgärden. Resultaten kan ses i Figur 15.



**Figur 15** Sanduttag för fodring i Europa och Amerika. Från år 2000 till år 2005 fördubblades sanduttagen i europeiska länder.

Av de sandmängder som beskrevs i Tabell 2 kommer cirka 2/3 att läggas på stränderna längs sydvästra Falsterbonäset, det vill säga cirka 30 000 respektive 50 000 m<sup>3</sup>/år. Dessa sandmängder kan jämföras med den naturliga sandtransporten längs samma stränder (Figur 16) som i tidigare studier har visat sig vara cirka 100 000 m<sup>3</sup>/år (Blomgren, 1999). Då betydande sandmängder redan rör sig längs stränderna bör eventuellt liv på bottenarna i dagsläget vara väl anpassade till en dynamisk sandbotten, och bestående skador på flora eller fauna i samband med att ny sand läggs ut bedöms inte som trolig.

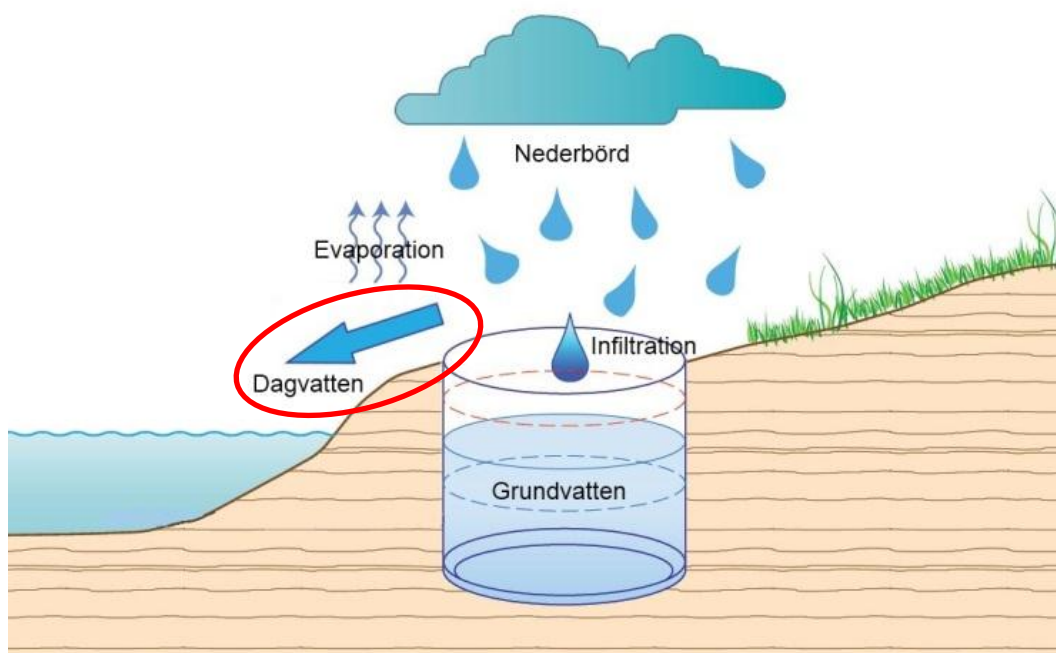


**Figur 16** Den naturliga sedimenttransporten längs Falsterbonäsets sydspets (Blomgren, 1999).

## 5 Dagvattenhantering

När det regnar kommer en del av regnvattnet att rinna längs marken ut mot havet, medan andra delar infiltrerar ner i marken och bildar grundvatten (Figur 17). Det vatten som rinner längs marken och/eller samlas upp i vägbrunnar benämns dagvatten. Vid diskussioner om dag- och grundvatten är det viktigt att hålla isär de två flödesvägarna.

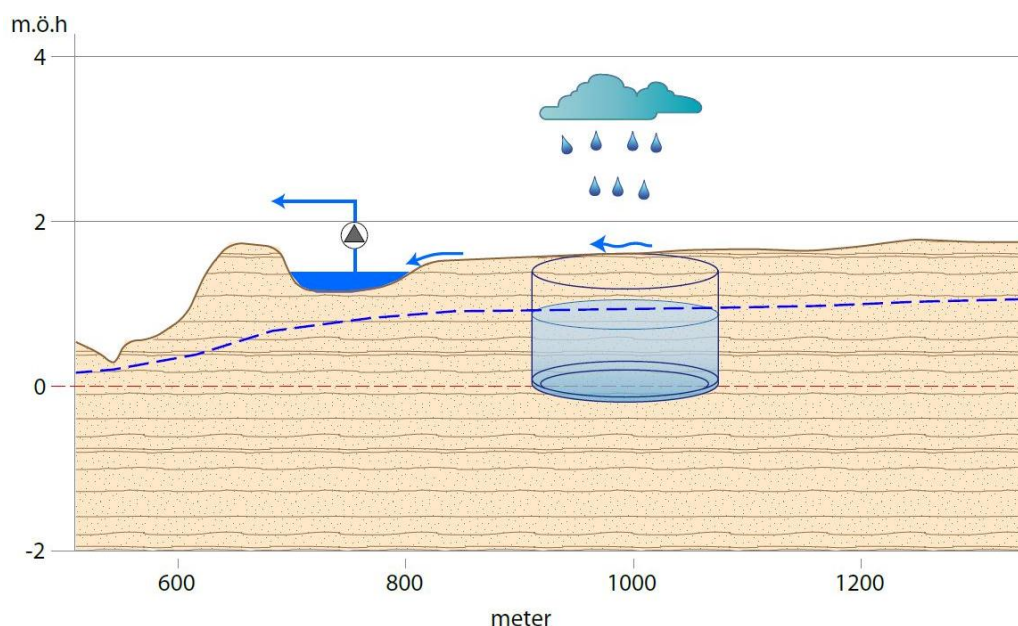
Dagvattensystem byggs och dimensioneras för att hantera kraftiga regn. Dagvattensystem är i princip endast aktiva under den korta tid ett regn faller, men trots den korta varaktigheten kan systemet vid skyfall behöva hantera stora mängder vatten.



**Figur 17** *Hydrologiska cykeln. Nederbörd som faller blir antingen till infiltration, evapotranspiration eller dagvatten. Dagvattensystem dimensioneras efter dagvattnets beskaffenheter.*

Vid skyfall finns en risk att den inre skyddsringen utgör en barriär för dagvatten som rinner mot landskapets naturliga lågpunkter, och dagvatten kan då ansamlas innanför den inre skyddsringen. För att hantera detta föreslås ett system där vatten leds till fördröjningsmagasin för tillfällig förvaring. Från fördröjningsmagasinen kan sedan vattnet successivt pumpas ut över vallen. Ett sådant principiellt system visas i Figur 18.





**Figur 18** *Principiellt dagvattensystem där vatten leds till ett fördröjningsmagasin och sedan successivt pumpas ut över vallen. Profilen beskriver en principiell profil från västra Falsterbonäset.*

## 5.1 Storlek av fördröjningsmagasin

Ett system med fördröjningsmagasin kräver att tillräckligt stora ytor kan tillgängliggöras inom bebyggelsen för att magasinera vattnet. Sådana fördröjningsmagasin kan vara nyanlagda magasin, men även befintliga gator, ledningar, diken eller naturliga lågpunkter som tillåts svämmas över kan användas för att tillfälligt magasinera vatten.

Vid bedömningen av rimligheten att ta hand om allt dagvatten inom den inre skyddsringen har mängden vatten som uppstår inom skyddsringen vid skyfall studerats. De återkomstperioder för regn som har studerats är 10, 20, 50 och 100 år, med en varaktighet av 10, 20 eller 30 min. Svenskt vatten, vilka anger Sveriges dimensioneringsnormer, tillhandahåller som elektronisk bilaga till P90 ett Excelark för beräkning av vilka regnmängder som svarar mot vilka återkomstperioder. Metoden är empirisk och bygger på att ett z-värde väljs utifrån vilken region i landet man befinner sig i. Z-värdet kan beräknas utifrån medelnederbörd under sommarmånaderna, men hämtas ofta direkt ur en karta med z-värden publicerad av Svenskt vatten. Z-värdet är ett mått på hur pass intensivt det regnar i den aktuella delen av landet, där högre z-värden anger intensivare regn. För området kring Falsterbo föreslås en z-värde av 12-14. I föreliggande PM har 14 använts. Resulterande vattenmängder presenteras som liter per sekund och hektar i Tabell 3 och som millimeter i Tabell 4. Det är värt att poängtera att det vid dimensionering av dagvattensystem är normalt att använda 10 års återkomstperiod, om inte något annat kan anses vara uppenbart nödvändigt.

**Tabell 3** Resulterade vattenmängder vid olika återkomstperiod och varaktighet för nederbörd vid Falsterbonäset. Vattenmängderna presenteras som liter per sekund och hektar.

Varaktighet [min]	Nederbörd [l/s,ha]			
	10 år	20 år	50 år	100 år
10	207	270	391	524
20	138	180	261	349
30	103	135	195	262

**Tabell 4** Resulterade vattenmängder vid olika återkomstperiod och varaktighet för nederbörd vid Falsterbonäset. Vattenmängderna presenteras som mm.

Varaktighet [min]	Nederbörd [mm]			
	10 år	20 år	50 år	100 år
10	12	16	23	31
20	17	22	31	42
30	19	24	35	47

Då bebyggelsen på Falsterbonäset till stor del består av tomtmark kommer merparten av regnvattnet att infiltrera ner i marken, utan behov av att tas om hand i ett dagvattensystem. I föreliggande PM har en avrinningskoefficient av 0,3 använts, vilket innebär att 30 % av nederbörden genererar dagvatten medan 70 % infiltrerar. Detta är sannolikt en konservativ uppskattning, och detaljerade studier kan mycket väl komma att visa att avrinningskoefficienten i själva verket är lägre. Den vattenmängden som måste hanteras beräknas som markarean innanför skyddsringen (i m<sup>2</sup>) multiplicerat med regnmängden (i mm) multiplicerat med avrinningskoefficienten enligt

$$Volym_{dagvatten} = Area_{bebyggd} * regnmängd * avrinningskoefficient * 0,001$$

För att bedöma rimligheten i omhändertagandet av denna vattenmängd beräknades hur stor del av det tätortsbebyggda området som behöver tas i anspråk som fördröjningsmagasin för att tillfälligt kunna magasinera dagvattnet. Det antas att magasinet i genomsnitt kommer att vara 0,5 m djupt. Resultaten kan ses i Tabell 5.

**Tabell 5** *Andel av de bebyggda tätorterna som kommer att behöva tas i anspråk för fördröjningsmagasin, om magasinet antas vara 0,5 m djupt i genomsnitt.*

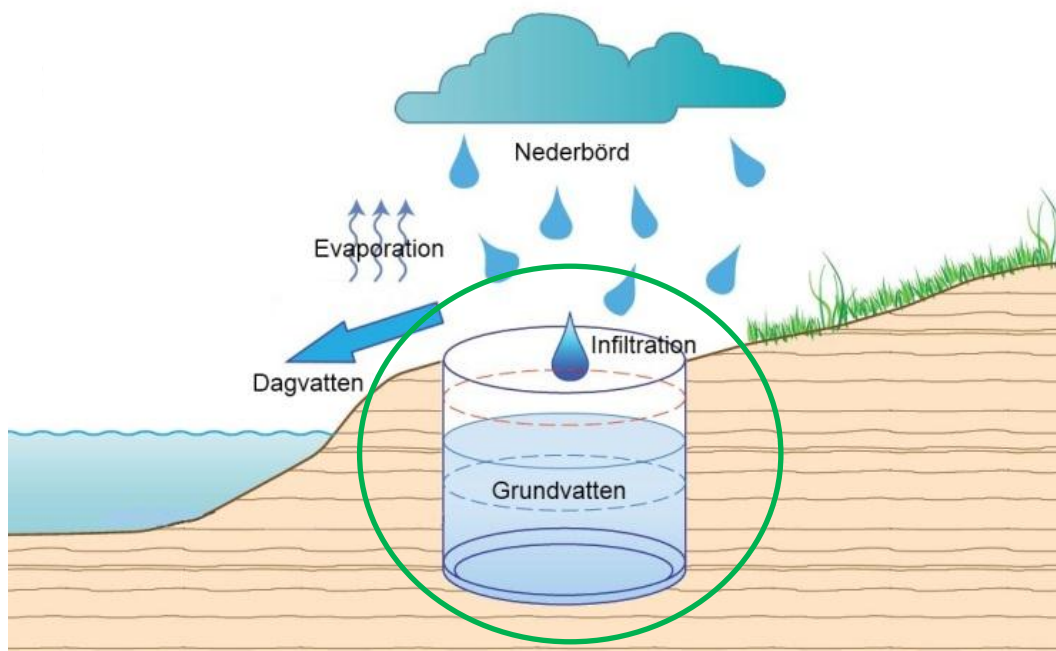
Återkomstperiod (varaktighet)	Andel av bebyggd tätort som behöver tas i anspråk för fördröjningsmagasin
10 år (30 min)	1 %
20 år (30 min)	1,5 %
50 år (30 min)	2 %
100 år (30 min)	3 %

Resultaten från tabellen visar att inte ens vid ett 30-minutigt 100-årsregn behöver mer än 3 % av tätortsmarken tas i anspråk för magasin. Liksom det tidigare har påpekats så behöver magasinet inte utgöras av ett enda nyanlagt magasin, utan befintliga gator, ledningar, diken eller naturliga lågpunkter som tillåts svämmas över kan också användas för att tillfälligt magasinera vatten. Det bör även understrykas att beräkningarna ovan inte tar hänsyn till att en viss mängd vatten ständigt kommer att pumpas över vallen, och därmed minska magasinsbehovet.

Beaktat att beräkningarna är konservativa och ändå visar att endast små delar av tätorterna kommer att behöva tas i anspråk bedöms upprättandet av den inre skyddsvallen inte äventyra möjligheten att omhänderta dagvatten på ett tillfredsställande sätt. Ett pumpbehov för dagvatten är inte någon unik situation som bara finns på Falsterbohalvön, utan är vanligt förekommande i kommunala dagvattensystem. Redan i dagsläget pumpas dagvatten ut ifrån fyra punkter på Falsterbonäset. Det är dock viktigt att poängtera att systemet med fördröjningsmagasin kräver att grundvatten inte tillåts stiga till en nivå där fördröjningsmagasinen står fulla av grundvatten redan innan det börjar regna.

## 6 Grundvattenhantering

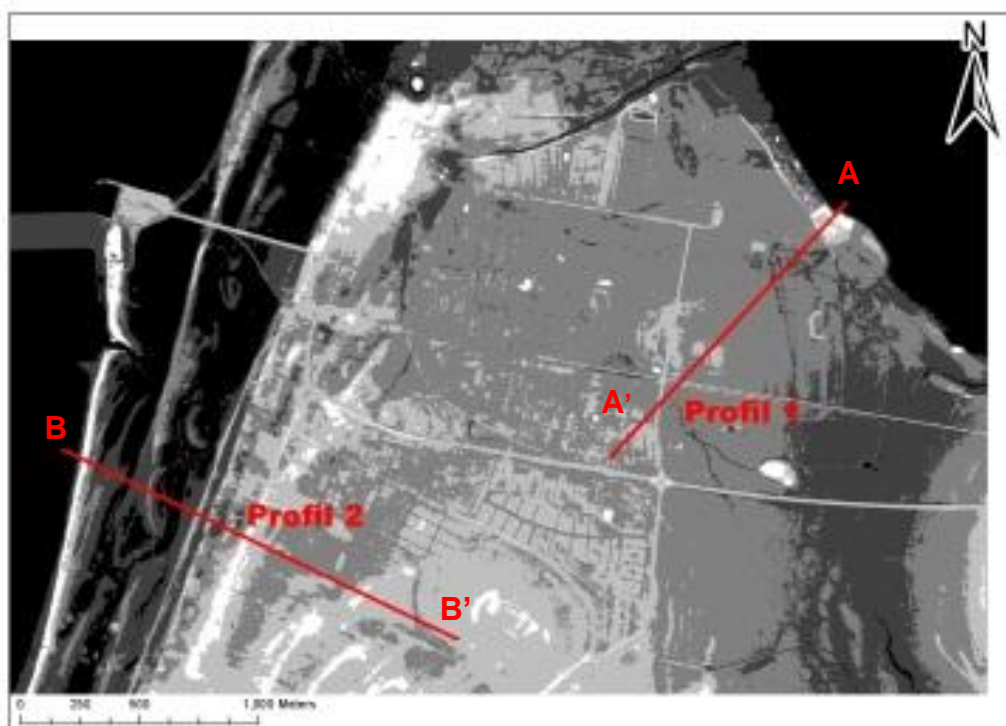
Liksom det tidigare har beskrivits så hanterar ett dagvattensystem inte samma vatten som ett grundvattensystem, och de krav som ställs på ett dagvattensystem är skilda från de krav som ställs på ett grundvattensystem. Ett dagvattensystem ska kunna hantera stora vattenmängder under korta perioder, medan grundvattensystemet kontinuerligt måste kunna hantera små mängder.



**Figur 19** Nybildning av grundvatten sker genom infiltration. Grundvattensystemet dimensioneras därför efter infiltrationen.

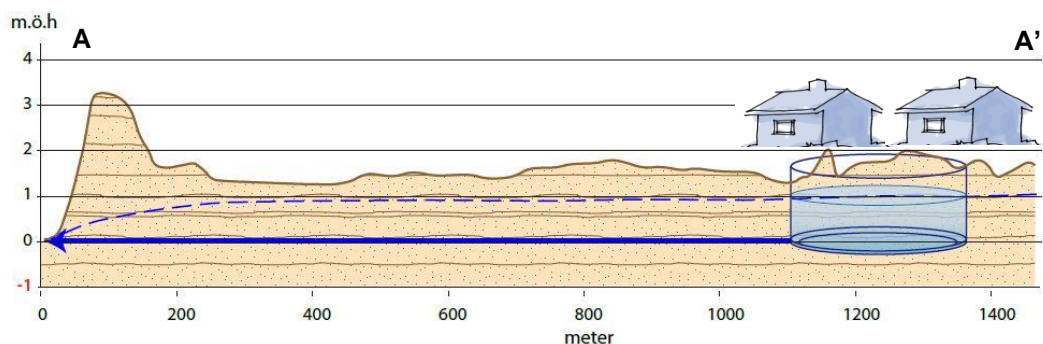
Grundvattentillförsel sker genom att nederbörd infiltrerar ner genom markytan. Med hjälp av gravitationen rinner sedan grundvattnet ut mot havet eller mot en lågpunkt i terrängen.

Den principiella grundvattensituationen på Falsterbonäset beskrivs nedan i två profiler. Profilernas läge beskrivs i Figur 20, och profilerna själva visas i Figur 21 och Figur 22. Den första profilen ligger på nordöstra sidan av näset och den andra på den västra sidan.

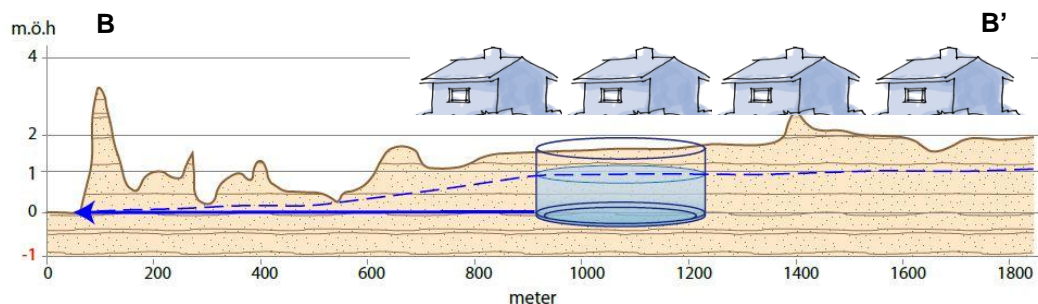


**Figur 20** *Läge för de två principiella profilerna som används för att beskriva grundvattensituationen på Falsterbonäset.*

Med dagens grundvattennivå finns endast få ytor som ligger under vatten, och marken har en omättad zon. Den omättade zonen är en förutsättning för att vatten ska kunna infiltrerar ner i marken vid regn. Husen i figurerna visar var den befintliga bebyggelsen börjar.



**Figur 21** *Profil som beskriver den principiella grundvattensituationen på Falsterbonäsets nordöstra sida. Få ytor ligger under vatten, marken har en omättad zon och grundvattnet kan rinna mot havet. Husen visar var bebyggelsen börjar.*

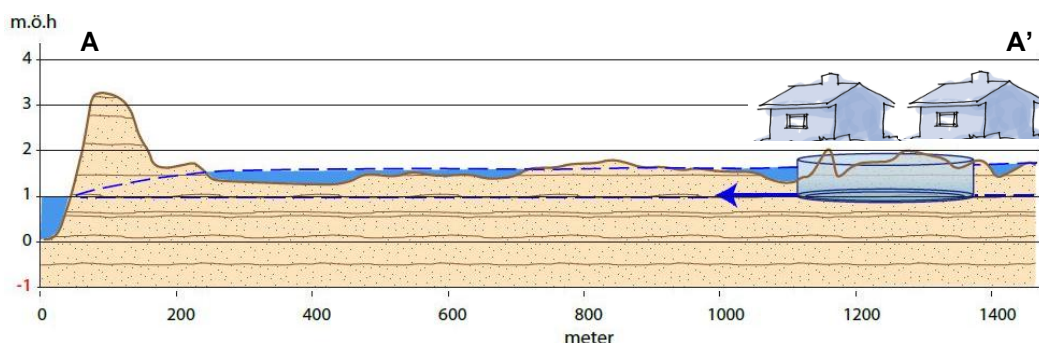


**Figur 22** *Profil som beskriver den principiella grundvattensituationen på Falsterbonäsets västra sida. Få ytor ligger under vatten, marken har en omättad zon och grundvattnet kan rinna mot havet. Husen visar var bebyggelsen börjar.*

Om havsmedelnivån stiger kommer grundvattenytan också att röra sig uppåt tills en ny balans har återställts mellan havets nivå och grundvattnets. I låglänta områden kan stigningen av grundvattennivån medföra att markzonen mättas, eller till och med läggs under vatten. Mättade och/eller dränkta förhållanden kommer att innebära en förändrad livsmiljö i naturområden och en skadad infrastruktur i bebyggda områden.

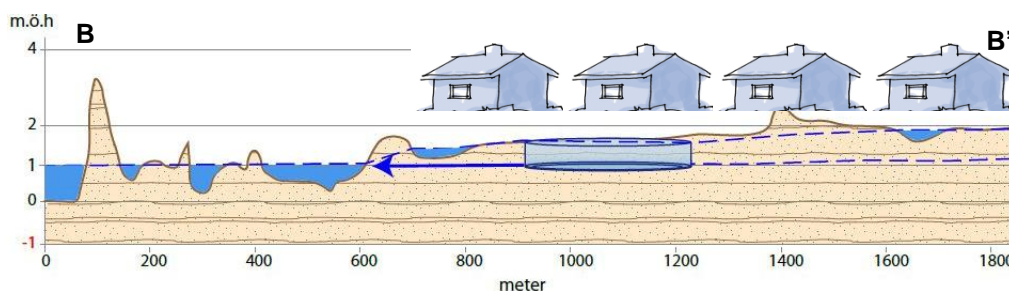
Om ingenting görs kan den principiella förändringen för grundvattenytan vid en stigning av havets medelnivå med +1 m kan ses i Figur 23 och Figur 24. De låglänta områdena i nordöst hamnar till stor del under vatten. I de delar som inte har en fri vattenyta kommer marken i princip att vara mättad. En sådan mark kommer inte på ett hållbart sätt kunna bära dagens infrastruktur, och översvämningar kommer sannolikt ske vid regn eftersom markens infiltrationsförmåga är liten.





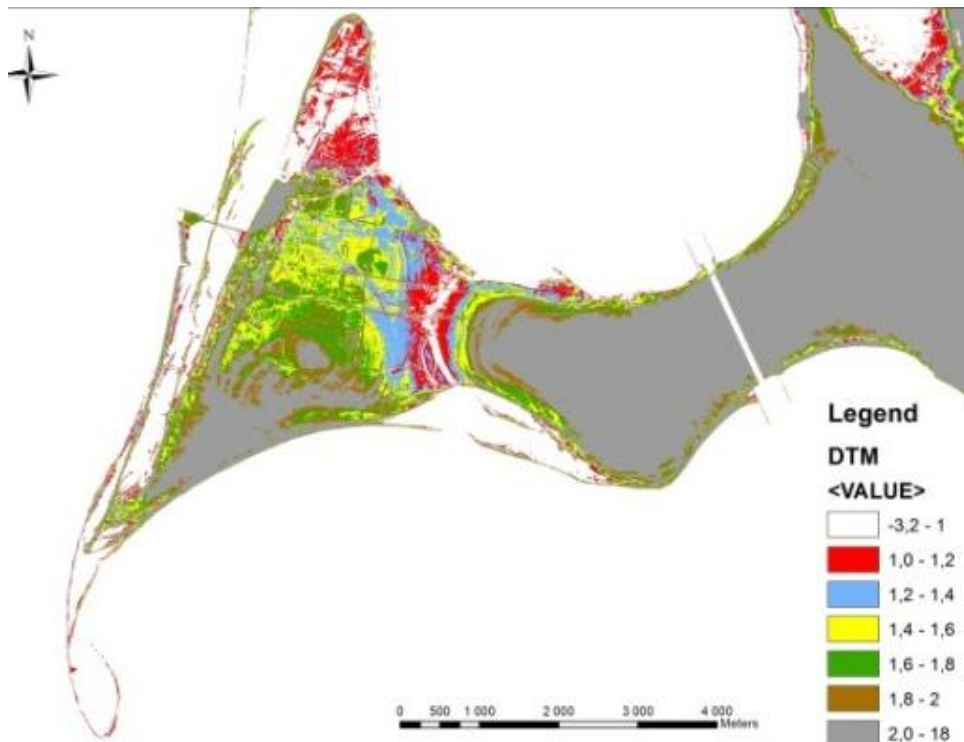
**Figur 23** *Profil som beskriver den principiella grundvattensituationen på Falsterbonäsets nordöstra sida vid en havsmedelnivå +1,0 m. Flera områden ligger permanent under vatten, naturområde såväl som tätort. Stora delar av övrig mark är mättad och kan inte infiltrera mer vatten. Husen visar var bebyggelsen börjar.*

I de västra delarna av Falsterbonäset kommer de bebyggda områden som läggs under vatten att vara mindre än i de nordöstra, eftersom den bebyggda marken här är något högre. Problem med mättade markförhållanden kommer dock sannolikt att uppstå, vilket kan orsaka översvämningar vid regn. Det låglänta Flommenområdet längs näsets västra kust kommer också att läggas under vatten, med förändrade livsvillkor för djur och fauna i området som följd.



**Figur 24** *Profil som beskriver den principiella grundvattensituationen på Falsterbonäsets västra sida vid en havsmedelnivå +1,0 m. Flera områden ligger permanent under vatten, naturområde såväl som tätort. Stora delar av övrig mark är mättad och kan inte infiltrera mer vatten. Husen visar var bebyggelsen börjar.*

I Figur 25 ses en höjdmödel över Falsterbonäset. Vid en höjning av havsmedelnivån med +1,0 m kommer vita områden ligga under vatten, medan röda, blå, gula och gröna områden riskerar en påverkan till följd av en förhöjd grundvattennivå.

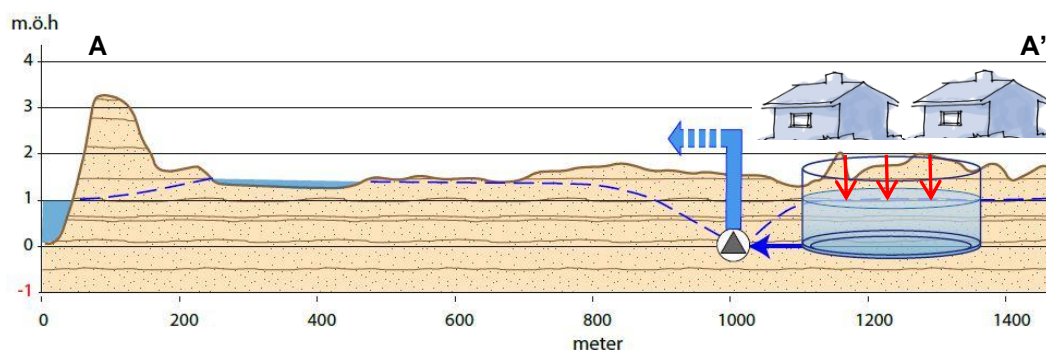


**Figur 25** Höjdmmodell över Falsterbonäset. Vid en höjning av havsmedelnivån med +1,0 m kommer vita områden att ligga under vatten, och röda, blå, gula och gröna (+1,0 m till +1,8 m) riskerar negativ påverkan på befintlig bebyggelse till följd av höjd grundvattennivå.

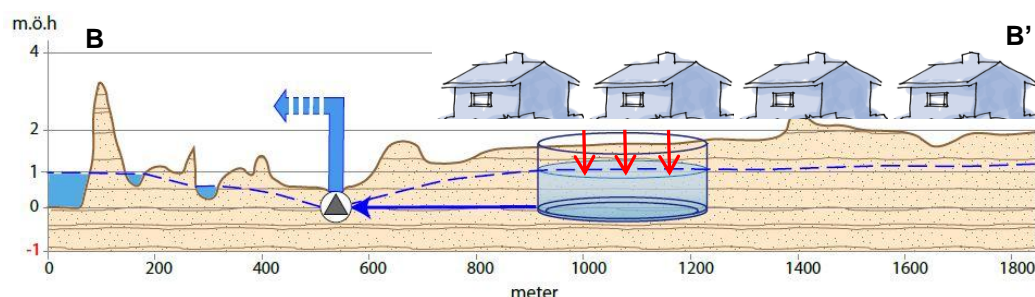
## 6.1 Åtgärder

För att förhindra skador orsakade av stigande grundvattennivåer till följd av långsiktigt stigande havsmedelnivåer kommer grundvattenytan på sikt att behöva vidmakthållas på en nivå liknande dagens. Detta kan åstadkommas med hjälp av en dränering (antingen begravad eller öppen) som leder ut grundvattnet från marken och vidare till pumpar. Allt grundvatten behöver inte ledas genom samma dräneringssystem eller till samma pump, utan systemet kan med fördel spridas ut och delas upp.

En principiell bild av hur näset kan se ut med en reglerad grundvattennivå kan ses i Figur 26 och Figur 27. Hanteringen bygger på att ett dränerande system skapar en konstgjord avsänkning till vilket grundvattnet kan rinna. Från dräneringen leds vattnet sedan till en pump och pumpas bort. För att nivån ska kunna bibehållas måste uttaget vid pumpen (blå pil i Figur 26 och Figur 27) vara lika stort som inflödet i form av infiltration (röda pilar i Figur 26 och Figur 27). Med hjälp av regleringen kan grundvattennivån bibehållas på en nivå där dagens infrastruktur inte skadas.



**Figur 26** *Principiell bild av reglering av grundvattenytan med hjälp av dränering och pumpning. För att bibehålla grundvattennivån måste inflödet till grundvattnet i form av infiltration (röda pilar) motsvaras av uttaget vid pumpen (blå pil).*



**Figur 27** *Principiell bild av reglering av grundvattenytan med hjälp av dränering och pumpning. För att bibehålla grundvattennivån måste inflödet till grundvattnet i form av infiltration (röda pilar) motsvaras av uttaget vid pumpen (blå pil).*

Som beskrivits ovan kommer mängden vatten som behöver dräneras bort bestämmas av infiltrationen. I dagsläget uppskattas nettoinfiltrationen som bildar nytt grundvatten vara cirka 125 mm per kvadratmeter och år. För att ta höjd för framtida förväntade ökade nederbörds mängder har denna mängd i föreliggande PM ökat med cirka 15 % till 150 mm/år. Mängden vatten som kommer att behöva dräneras ifrån tätorterna utgörs därför av tätortens area (angiven i m<sup>2</sup>) multiplicerad med nettoinfiltrationen (angiven i m).

I Tabell 6 anges de grundvattenmängder som kommer att behöva pumpas bort ifrån respektive tätortsområde för att bibehålla grundvattennivån även vid en höjd havsmedelnivå. Tabellen visar att det i samtliga fall rör sig om mycket små vattenmängder, i genomsnitt mellan 20-40 l/s. Tabellen visar även en grov uppskattning av vad energikostnaden för att pumpa vattnet kommer vara. I beräkningen har det antagits att lyfthöjden är 5 m, att verkningsgraden är 65 % samt att energipriset är 1,50 kr/kWh, exklusive moms.

**Tabell 6** Erforderliga grundvattenmängder som måste pumpas bort ifrån tätorterna för att grundvattennivån ska kunna bibehållas vid en höjd havsmedelnivå.

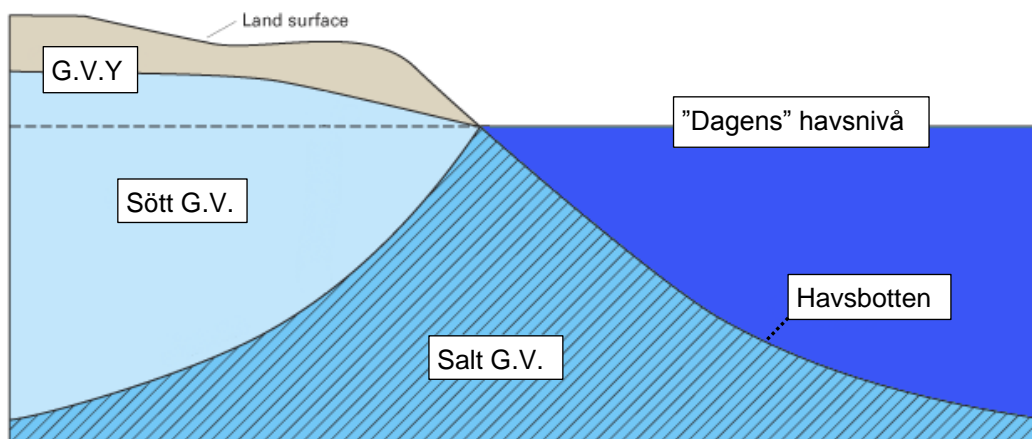
Tätort	Yta	Netto-nederbörd	Tot. pumpbehov	Genomsnitt. pumpbehov	Elkostnad*
Skanör-Falsterbo	~570 ha	150 mm	0,86 Mm <sup>3</sup> /år	~27 l/s	~30 000 kr/år
Ljunghusen	~360 ha	150 mm	0,54 Mm <sup>3</sup> /år	~17 l/s	~20 000 kr/år
Höllviken	~460 ha	150 mm	0,69 Mm <sup>3</sup> /år	~22 l/s	~25 000 kr/år
<b>Totalt</b>	<b>~1400 ha</b>	<b>150 mm</b>	<b>~2,1 Mm<sup>3</sup>/år</b>	<b>~70 l/s</b>	<b>~75 000 kr/år</b>

\* Avser endast kostnad för el. Andra drift- och underhållskostnader är inte inkluderade.

Beroende på var den slutgiltiga dräneringen placeras kommer ett visst tillflöde av grundvatten även att ske ifrån områdena utanför tätorterna (området till vänster om pumparna i föregående bilder). Föreliggande PM bedömer endast pumpbehovet för att bibehålla grundvattennivåerna inom själva tätorterna, vilket med utgångspunkt i tabellen ovan och ett antagande om visst men begränsat inflöde från områdena utanför tätorterna torde vara mellan 20-40 l/s och per tätortsområde. Detta är ett genomsnittligt pumpbehov sett över hela året. Att hantera dessa vattenmängder bedöms inte vara några problem för ett anlagt grundvattensystem.

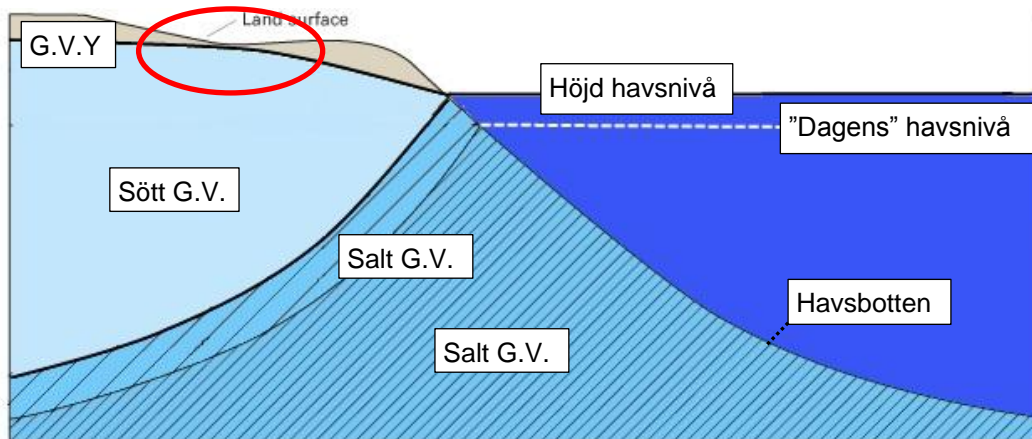
## 7 Saltvatteninträngning

I kustnära områden kommer en del av markens grundvatten att utgöras av saltvatten som har trängt in från havet medan en annan del utgörs av sötvatten som bildats av infiltrerat regn. Eftersom sötvatten är lättare än saltvatten så kommer sötvattendelen av grundvattnet att flyta som en lins ovanpå saltvattendelen. En generell beskrivning av hur detta ser ut kan ses i Figur 28. Det poängteras att bilden är generell, och inte beskriver topografin på Falsterbonäset.



**Figur 28** Sött grundvatten flyter i kustområden som en lins ovanpå det saltare havsvattnet. G.V.=grundvatten, G.V.Y.=grundvattenyta (modifierad från Barlow, 2003).

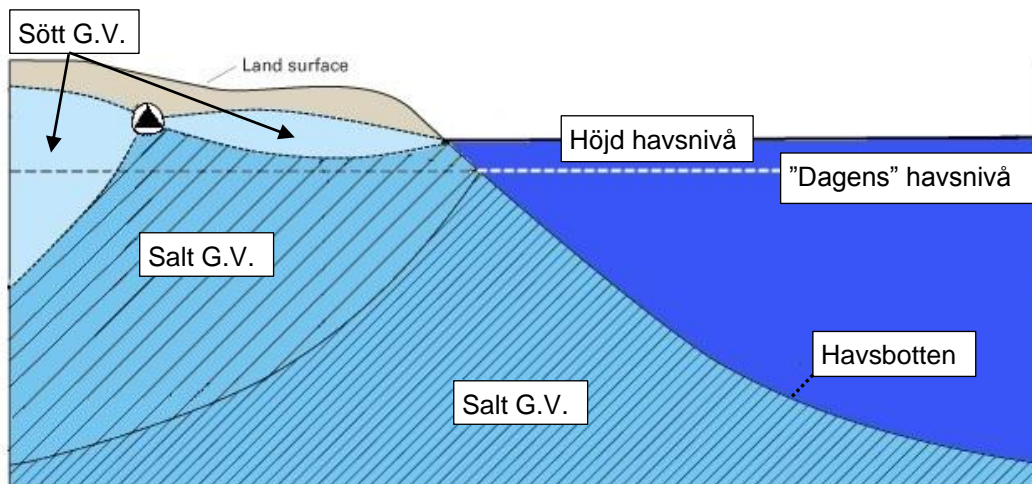
Om havets medelvattennivå stiger kommer hela sötvattenlinsen att följa stigningen och förflyttas uppåt enligt Figur 29. Vid tillräckligt hög havsstigning kan grundvattnet nå ända upp till markytan, och riskerar att skada infrastruktur eller naturvärden i området. En sådan situation har markerats med röd elips i Figur 29.



**Figur 29** I takt med att havsmedelnivån stiger kommer sötvattenlinsen att stiga i motsvarande grad. Den röda elipsen visar hur sötvattenlinsen har stigit så pass mycket att grundvattnet har nått upp till markytan. G.V.=grundvatten, G.V.Y.=grundvattenyta.



För att förhindra att grundvattnet stiger upp till marknivå, och där orsakar skador på infrastruktur eller naturvärden, installeras ett dräneringssystem och pump. Effekten av detta blir att en ny balans mellan salt- och sötvatten etableras, vilket visas i Figur 30.

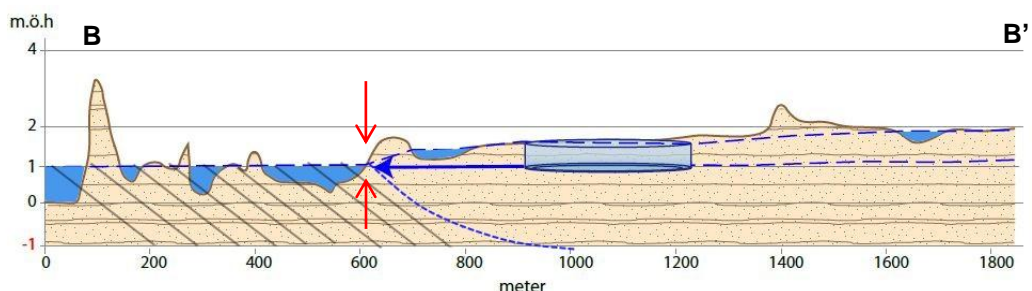


**Figur 30** Om grundvattenytan sänks via pumpning kommer en ny balans mellan sött- och saltvatten att etableras. Om avsänkningen är tillräckligt stor kan saltvatten tränga hela vägen inte till avsänkningstratten. G.V.=grundvatten, G.V.Y.=grundvattenyta.

Av Figur 30 framgår att en sänkning av en (framtida) högre grundvattennivå kommer att leda till att saltvatten tränger in mot avsänkningstratten. Denna situation ska jämföras med vad som händer om naturen får ha sin gång, vilket visas i Figur 31.

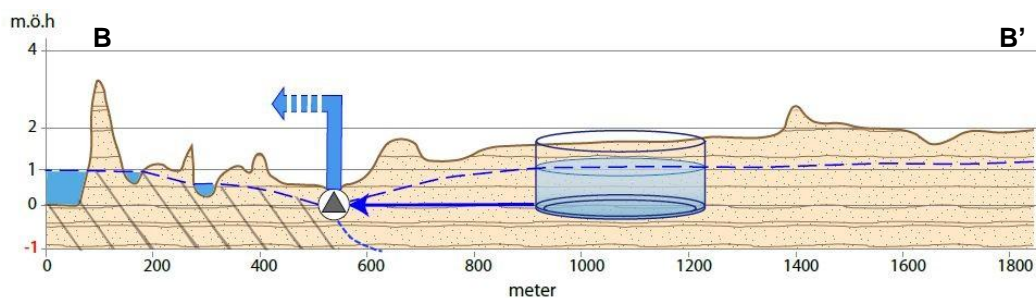
I Figur 31 visas hur saltvatteninträngningen kommer att utvecklas längs Falsterbonäsets västkust vid en havsmedelnivå på +1,0 m. Salt havsvatten kommer att svämma över Flommenområdet, vilket innebär att även grundvattnet här kommer att övergå från sött till salt vatten. Saltvatteninträngningen kommer därmed nå hela vägen fram till den nya strandlinjen (markerad med pil i Figur 31), och härifrån breda ut sig på samma sätt som framgick av Figur 29. Under dessa förhållanden blir det meningslöst att diskutera hur naturvärden i Flommenområdet påverkas av en saltvatteninträngning i marken, eftersom de kommer att vara konstant översvämmade av havsvatten.





**Figur 31** Saltvatteninträngning på Falsterbonäsets västkust vid havsmedelnivå +1,0 m om inga åtgärder görs. Salt havsvatten kommer att svämma över Flommenområdet, vilket leder till att även grundvattnet i detta område blir salt. Från den nya strandlinjen, markerad med röd pil, breder sedan sötvattenlinsen ut sig.

Med en kombination av de föreslagna åtgärderna kan havsvattnet hållas ute med hjälp av den yttre skyddsringen, samtidigt som grundvattnet kan hållas nere med hjälp av pumpning. Den saltvatteninträngning som kan förväntas under dessa förhållanden visas i Figur 32.



**Figur 32** Saltvatteninträngning på Falsterbos västkust om havsvattnet hålls ute och grundvattnet pumpas bort. Saltvatteninträngningen kommer sannolikt vara större än i dagsläget, men genom val av punkt för dräneringen kan inträngningen i viss mån styras. Saltvatteninträngningen kan därför bli mindre med åtgärder än utan.

Saltvatteninträngningen kommer att ske fram till den punkt som dränering och pumpning läggs på (enligt Figur 30). Beroende på var dräneringen läggs kan saltvatteninträngningen därmed i viss mån styras och bli mindre än om ingen pumpning hade skett. De kombinerade åtgärderna gör dessutom att trots att viss förändring av salthalten i vattnet kan ske så dränks inte området under havsvatten, och dagens naturvärden har därmed större chans att bestå med de föreslagna åtgärderna än utan.

## 8 Åtgärdernas samlade effekt

De åtgärder som har föreslagits i kommunens handlingsplan har i föreliggande PM presenterats var för sig, men de är beroende av varandra för att fungera optimalt. Om högvattenstånd, även kortvariga sådana, tillåts tränga in i bebyggda områden blir skadorna till följd av översvämningar sannolikt betydligt större än de som uppstår vid regn. Att arbeta preventivt med att förebygga dagvattenöversvämningar till följd av regn, men samtidigt inte kunna säkra sig mot inströmningar ifrån tillfälliga högvattenstånd, är därför meningslöst. På samma sätt blir allt arbete för att hålla stigande havsnivåer ute med hjälp av en yttre skyddsring meningslöst om grundvattennivån tillåts stiga och svämma över på insidan. Motsatt kan man även säga att det blir lönlöst att försöka kontrollera grundvattennivån innanför ringen om det inte kan säkerställas att ringen håller havsvattnet ute. Även dagvattensystem som planeras i dagsläget är på lång sikt beroende av en omättad zon i marken, vilket i sin tur är beroende av att grundvattennivån inte tillåts stiga.

Eftersom vi inte säkert vet vilka utmaningar vi kommer ställas inför i framtiden kan detaljerade beskrivningar om vad som på lång sikt måste göras inte ges, men vi måste ändå redan i dagens planering kunna känna oss trygga i att skyddsåtgärder kommer att kunna genomföras i den takt de visar sig behövas. Genom exempelvis uppföljning av havsmedelnivåer, kontrollprogram för grundvattennivåer och saltvattenmätningar, samt bevakning av den tekniska utvecklingen ges goda möjligheter att fatta väl avvägda beslut när framtida förändrade förutsättningar så kräver.

## Referenser

Barlow, P. M., 2003, *Groundwater in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast*, United States Geological Survey (USGS), tillgänglig på:

<http://pubs.usgs.gov/circ/2003/circ1262/>

Blomgren, S., 1999, *Hydrographic and morphologic processes at Falsterbo Peninsula – Present Conditions and Future Scenarios*, Teknisk Vattenresurslära, Lunds Universitet

Hanson, H., m.fl., 2002, *Beach nourishment projects, practices and objectives – a European overview*. Coastal Engineering, nr 47 (2002), p.p. 81-111

VIAB AB, 1985, *Servicecentrum i Skanör – PM avseende utförande av dränering för byggnad på del av fastigheterna Skanör 2:1 och 14:30*