
BILAGA B3 FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER

MALMÖ KOMMUN

Utfyllnad Norra hamnen MMD

UPPDRAGSNUMMER 13007744

Framtagande av haltkriterier för utfyllnad i Norra hamnen

UPPDRAGSNUMMER 13007744



2019-11-15

SWECO ENVIRONMENT AB
MALMÖ KUST OCH VATTENDRAG

FÖRFATTARE: ELNA RASMUSSEN, MATILDA JOHANSSON, CLAES THURESON
UPPDRAGSLEDARE: OLOF PERSSON

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Förutsättningar	1
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Metodval	2
1.6	Bedömningsgrunder	3
2	Planerad utformning	5
3	Områdesförhållande	5
3.1	Planförhållanden	6
3.2	Skyddsvärda miljöer och riksintressen	6
3.3	Geologi	6
3.4	Grundvatten	6
3.5	Ytvatten	7
3.6	Bakgrundshalter	7
4	Förutsättningar för beräkning av haltkriterier	11
4.1	Skyddsobjekt	12
4.2	Exponeringsanalys och antaganden	13
4.3	Skydd av markmiljö	13
4.4	Spridningsförutsättningar och antaganden	14
4.4.1	Spridningsförutsättningar	14
4.4.2	Spridningsantaganden grundvattenspridning	15
5	Haltkriterier	18
6	Medelhalter i kontrollerade massor som tillförts utfyllnader i Norra hamnen	20
6.1	Cementen NCC	20
6.2	Muddermassor Industrihamnsrännan	23
6.3	Malmö Live	24
6.4	Samlad bedömning av övriga utfyllnadsmassor	26
7	Påverkan på sediment	26
7.1	Spridning av suspenderat material och sedimentation	26
7.2	Maximala halter i sediment	27

BILAGA B3 FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER
2019-11-15

FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER FÖR UTFYLLNAD I NORRA HAMNEN

7.3	Förväntade halter i sediment	28
7.4	Bedömning av påverkan	29
8	Slutsatser	31
9	Referenser	33

Bilagor

Bilaga B3-1. Uttagsrapport

Bilaga B3-2. Maximala halter i sediment

Bilaga B3-3. Förväntade halter i sedimenten

Bilaga B3-4. Ökat grundvattenflöde till följd av havets nivåvariationer

1 Inledning

1.1 Bakgrund

På uppdrag av Malmö stad har Sweco Environment AB tagit fram haltkriterier för planerad utfyllnad i anslutning till det befintliga hamnområdet i Norra hamnen i Malmö. Utfyllnaden, vars läge framgår av miljökonsekvensbeskrivningen (MKB), syftar till att möjliggöra etablering av hamnanknutna verksamheter, logistik- och industriverksamheter och verksamhetskopplad service i området.

Vid utfyllnaden går området från att vara ett vattenområde till ett landområde. Områdets kommande markanvändning (logistik- och industriverksamheter) har varit en utgångspunkt vid framtagandet av haltkriterier. Denna markanvändning, liksom markanvändningen på omgivande områden, motsvarar huvudsakligen Naturvårdsverkets generella scenario för mindre känslig markanvändning (MKM).

1.2 Syfte

Syftet med denna bilaga är ta fram haltkriterier för bedömning av vilka massor som är lämpliga att använda vid utfyllnaden. Haltkriterierna ska säkerställa att tillkommande massor inte är skadliga för miljön på platsen, inte bidrar till oacceptabel spridning av föroreningar till ytvattenrecipient och inte är skadliga för människors hälsa inom den utfyllnad som ska användas för logistik- och industriverksamheter.

1.3 Förutsättningar

Haltkriteriernas huvudsakliga syfte är att säkerställa att föroreningar i de massor som används för utfyllnaden inte medför en oacceptabel belastning på miljön enligt ovan. Två mål med haltkriterierna är att de ska vara enkla att tillämpa i entreprenadskedet samt möjliggöra ett effektivt nyttjande av resurser i samhället.

Det saknas generella kriterier för vilka halter som är acceptabla i massor som kan användas vid utfyllnader. Det saknas också fastställda metoder för att fastställa sådana haltkriterier. Ett sätt att uppnå målen om praktisk tillämpbarhet och möjlighet till resurshushållning enligt ovan hade varit att använda Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark eftersom dessa är väletablerade inom olika tillämpningar med masshantering. Naturvårdsverkets generella riktvärden bedöms dock inte vara tillämpbara i aktuellt fall, då de inte tar hänsyn till platsens förhållanden och det inte kan säkerställas att haltkriteriernas huvudsakliga syfte uppfylls.

Mot bakgrund av de diskussioner som fördes på samrådsmötet 2019-08-22 har sökande valt att för de massor som ska användas i vallen begränsa haltkriterierna så att inga haltkriterier ska överstiga klassgränsen mellan klass 4 och klass 5 enligt bedömningsgrunder för marina sediment. För metaller används klassgränser enligt Naturvårdsverkets rapport 4914 (Naturvårdsverket, 1999a) och för organiska ämnen SGU:s rapport 2017:12 (Josefsson, 2017). Bedömningsgrunderna redovisas i avsnitt 1.6 nedan.

1.4 Avgränsningar

En parameterlista med de parametrar som bedöms vara vanligt förekommande i massor som tillförs vid utfyllnaden samt parametrar som kan vara av extra intresse för bedömning av konsekvenser har tagits fram. För samtliga av dessa ämnen har haltkriterier tagits fram. Det ska dock poängteras att denna parameterlista inte är fullständig. Därför bör massor som innehåller eller kan misstänkas innehålla andra föroreningar inte användas, alternativt att haltkriterier tas fram även för dessa ämnen.

De parametrar som haltkriterier har tagits fram för är 13 metaller, oljekolväten (alifatiska, aromatiska och polycykliska aromatiska kolväten) samt PCB och TBT.

Beräknade haltkriterier beaktar endast vilket föroreningsinnehåll som är acceptabelt i utfyllnadsmassorna med avseende på risker för människor och miljö. Andra faktorer, så som geotekniska aspekter, kan vara avgörande för vilka massor som går att använda i praktiken.

1.5 Metodval

Eftersom det inte är känt varifrån massor till utfyllnaden kommer att hämtas har framtagandet av haltkriterier inte utgått från faktiska eller förväntade halter i massor. Istället har haltkriterierna beräknats utifrån ett riskperspektiv, där hänsyn tagits till platsens förutsättningar och identifierade skyddsobjekt.

Arbetet har inletts med att identifiera skyddsobjekt samt spridnings- och exponeringsvägar för föroreningar i de massor som används för utfyllnaden. Detta beskrivs i avsnitten 4.1 och 4.2. Utifrån identifierade skyddsobjekt, spridnings- och exponeringsvägar har Naturvårdsverkets beräkningsverktyg för riktvärden för förorenad mark (Naturvårdsverket, 2016b) bedömts vara användbart. Beräkningsverktyget har använts för att ta fram haltkriterier för massor till utfyllnaden. Beräkningsverktyget är utvecklat för att ta fram riktvärden för förorenad mark. Det är alltså inte framtaget för att bedöma massor som ska användas vid utfyllnad, men det saknas särskilda beräkningsverktyg för att ta fram haltkriterier för utfyllnader. Eftersom Naturvårdsverkets beräkningsverktyg innehåller beräkningsmodeller för att beräkna exponering för flera av de aktuella skyddsobjekten kan verktyget ändå användas i det aktuella fallet. Vidare innehåller verktyget toxikologiska och fysiokemiska data för de parametrar som är upptagna på den parameterlista som nämns i avsnitt 1.4.

De modeller som ingår i Naturvårdsverkets beräkningsverktyg beskriver förhållandena när massorna ligger i utfyllnaden. Framtagandet av haltkriterierna beaktar också den spridning som kan ske i samband med att massorna läggs ut. Hur beräkningarna har utförts redovisas i avsnitt 4.

Naturvårdsverkets beräkningsverktyg har också använts vid framtagande av haltnivån för mindre än ringa risk enligt Naturvårdsverkets handbok 2010:1 (Naturvårdsverket, 2010). Vid återvinning av avfall i anläggningsarbete bedöms risker med avseende på spridning enligt Naturvårdsverkets handbok (Naturvårdsverket, 2010) utifrån laktester. För en

enklare hantering i entreprenadskedet bedöms istället risker med avseende på spridning utifrån totalhalter och ämnesspecifika lakegenskaper i beräkningsverktyget.

Utöver de skyddsobjekt som beaktats vid framtagande av haltkriterier med Naturvårdsverkets beräkningsverktyg har också en bedömning gjorts avseende påverkan på sediment i områden utanför det utfyllda området. Bedömningen baseras på en hydrodynamisk modell, de framtagna haltkriterierna för utfyllnadsmassorna och bakgrundshalter i sediment i området. Utifrån detta har framtida halter i sediment beräknats. Hur beräkningarna utförts redovisas i avsnitt 7.

1.6 Bedömningsgrunder

Uppmätta och beräknade halter i sediment jämförs med bedömningsgrunder för marina sediment. För metaller används bedömningsgrunder enligt Naturvårdsverkets rapport 4914 (Naturvårdsverket, 1999a) och för organiska ämnen används bedömningsgrunder enligt SGU 2017:12 (Josefsson, 2017).

Bedömningsgrunderna innebär en klassindelning i, för de flesta parametrar, fem klasser. Klassificeringen baseras på en sammanställning av uppmätta halter i svenska kust och -utsjösediment. Klass 1 motsvarar för metaller *ingen eller obetydlig avvikelse* och för organiska ämnen *mycket låg halt* medan klass 5 motsvarar för metaller *mycket stor avvikelse* och för organiska ämnen *mycket hög halt*. Gränsen mellan klass 1 och 2 utgörs av jämförvärdet och gränsen mellan klass 4 och 5 utgörs av 95-percentilen (99-percentilen för nickel) av insamlade data.

Bedömningsgrunder för aktuella parametrar redovisas i Tabell 1. För alifater, aromater (inkl. BTEX) och PCB i sediment saknas svenska jämförvärden.

Havs- och vattenmyndigheten har sammanställt effektbaserade bedömningsgrunder och indikativa värden för sediment för några av de aktuella parametrarna (Havs- och vattenmyndigheten, 2018). Även de indikativa värdena är effektbaserade, men osäkerheterna är större då de baseras på ekotoxikologiska tester med andra typer av organismer än sedimentlevande organismer. Effektbaserade värden för aktuella parametrar redovisas i Tabell 2.

Tabell 1 Jämförelsedata som används avseende halter i sediment. Klassindelningar avseende metaller är från "Bedömningsgrunder för kust och hav" (Naturvårdsverket, 1999a) och för organiska föroreningar är klassindelningen hämtad från "Klassning av halter av organiska föroreningar i sediment" (Josefsson, 2017). Samtliga halter anges i mg/kg.

Ämne	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
	<i>Ingen/obetydlig avvikelse eller Mycket låg halt</i>	<i>Liten avvikelse eller Låg halt</i>	<i>Tydlig avvikelse eller Medelhög halt</i>	<i>Stor avvikelse eller Hög halt</i>	<i>Mycket stor avvikelse eller Mycket hög halt</i>
Antimon					
Arsenik	≤10	10-17	17-28	28-45	>45
Barium					
Bly	≤25	25-40	40-65	65-110	>110
Kadmium	≤0,2	0,2-0,5	0,5-1,2	1,2-3,0	>3,0
Kobolt	≤12	12-20	20-35	35-60	>60
Koppar	≤15	15-30	30-50	50-80	>80
Krom	≤40	40-48	48-60	60-72	>72
Kvicksilver	≤0,04	0,04-0,12	0,12-0,4	0,4-1,0	>1,0
Molybden					
Nickel	≤30	30-45	45-66	66-99	>99
Vanadin					
Zink	≤85	85-130	130-200	200-360	>360
PAH L					
PAH M	<0,057	0,057-0,11	0,11-0,32	0,32-1,7	>1,7
PAH H	<0,18	0,18-0,32	0,32-0,94	0,94-2,6	>2,6
Summa PCB ₇	<0,00081	0,00081- 0,0025	0,0025-0,0076	0,0076- 0,034	>0,034
Tributyltenn (TBT)		<0,001	0,001-0,019	0,019- 0,055	>0,055

Tabell 2 Effektbaserade värden för sediment enligt rapporten "Metaller och miljögifter – effektbaserade bedömningsgrunder och indikativa värden för sediment" (Havs- och vattenmyndigheten, 2018). Samtliga halter anges i mg/kg TS.

Ämne	Värde
Bly	120
Kadmium	2,3
Koppar	56 ^{1,2}
Kvicksilver	9,3 ³
Tributyltenn (TBT)	0,0016 ²

¹ Den naturliga bakgrundshalten ska subtraheras från uppmätt halt innan jämförelse.

² Gäller vid TOC på 5 %. Uppmätta halter ska normaliseras till 5 % TOC innan jämförelse.

³ Indikativt värde. Oklart vilken TOC-halt som avses.

2 Planerad utformning

Informationen i detta avsnitt är hämtad från MKB:n. Hur arbetet med utfyllnaden planeras genomföras beskrivs närmare i avsnittet *Teknisk beskrivning* i MKB:n.

Det planerade huvudalternativet för utfyllnaden innebär att utfyllnadsområdet initialt avskärmas från kringliggande vattenområde genom anläggande av en vall. Vidare sker en successiv utfyllnad av den bassäng som tillskapats genom anläggande av vallen. Genom att en vall initialt anläggs, kan vidare utfyllnadsarbete utföras skyddat från öppet hav. I vallens sydöstra anslutning mot den befintliga kajkanten tillskapas en öppning i vallen, för att möjliggöra in- och utseglning till bassängen. En siltgardin placeras i vallens öppning för att minimera spridning av suspenderat material från bassängen till öppet hav. Vidare planeras vallen anläggas med stenskonning som erosionsskydd och för att säkerställa att vallen inte spolats bort. Erosionsskyddet kommer anläggas löpande i takt med att vallen anläggs. Utförligare beskrivning av stenskonningen framgår av MKB:n.

Vallen kommer att vara cirka 1 800 m lång och det kommer krävas en total volym av cirka 300 000 – 600 000 m³ massor för att anlägga den. För hela utfyllnaden kommer det totalt krävas cirka 3 000 000 m³ massor, för att tillskapa en markyta på cirka 236 000 m².

De massor som bedöms bli aktuella för utfyllnad av såväl vall som av området innanför vallen kommer huvudsakligen utgöras av lermorän. Det är ännu inte känt vilka massor som kommer användas vid utfyllnaden, men de kommer troligen utgöra överskottsmassor från anläggnings- och infrastrukturprojekt i Skåne. Sådana överskottsmassor utgörs ofta av lermorän.

3 Områdesförhållande

Malmö hamn ligger inom utfyllt havsområde. Hamnen har successivt fyllts ut sedan 1700-talet. Norra hamnen är en del som fyllts ut under senare år. Den nu planerade utfyllnaden utgår ifrån det nordvästra hörnet av Norra hamnen och kommer, liksom befintliga utfyllnader på Norra hamnen, användas som industriområde med hamnverksamhet.

3.1 Planförhållanden

Beskrivning av gällande översiktsplan och andra aktuella planer framgår av MKB:n. I Norra hamnen ska i första hand hamnanknuten tung industri och logistikföretag som kräver stora ytor och skyddsavstånd placeras. I dagsläget är vattenområdet som berörs av utfyllnaden inte detaljplanlagt, men Malmö stad arbetar med att upprätta en detaljplan för området.

3.2 Skyddsvärda miljöer och riksintressen

Riksintressen och skyddsvärda miljöer beskrivs i MKB:n. Nedanstående information är hämtad därifrån och utgör en mycket kortfattad beskrivning. För ytterligare information hänvisas till MKB:n.

Norra hamnen innefattas av riksintresset för högexploaterad kust, riksintresse för kommunikationer samt riksintresse för sjöfarten. I Lommabukten, nordväst om verksamhetsområdet, ligger två stora Natura 2000-områden, som till stor del överlappar varandra.

Vidare förekommer i Lommabukten två naturreservat; Södra Lommabukten med Tågarps hed och Alnarps fälad samt Strandhusens revlar. Naturreservatens syfte är bland annat att bevara den biologiska mångfalden med avseende på fågelfaunan i området och att vårda och bevara de värdefulla naturmiljöer och kustnära havsmiljöer.

3.3 Geologi

Planerad utfyllnad ska göras i havet (Öresund). Befintlig geologi utgörs av sediment på havsbotten, lermorän och underliggande kalkberg. Kalkbergets överyta ligger på nivåer omkring -12 m – -14 m (RH2000) i det aktuella området. Kalkberget överlagras huvudsakligen av moränlera.

Den naturliga sedimentationen i området för den planerade utfyllnaden och intilliggande områden bedöms vara mycket liten. En provtagning av sedimenten genomfördes under sommaren 2019, se avsnitt 3.6.

De djupaste delarna av dagens vattenområde är cirka 9 meter. Utfyllnaden kommer ske till cirka +3 m, vilket innebär en total utfyllnad på som mest cirka 12 meter. Planerad utfyllnad kommer göras i direkt anslutning till tidigare utfyllt område, Norra hamnen.

3.4 Grundvatten

Området för den planerade utfyllnaden utgörs idag av ett vattenområde och därmed förekommer idag inget grundvatten i området. Efter utfyllnaden förväntas dock grundvattennivån i det utfyllda området ligga nära havets medelvattenstånd.

Grundvattnet i det utfyllda området påverkas av havsnivåvariationer. Påverkan avtar med avståndet från havet. Detta innebär att grundvattnets flödesriktning och hastighet varierar över tid, särskilt i områdena allra närmast havet. I praktiken förväntas ett flöde ske igenom utfyllnaden både till och från havet. Nettotransporten beräknas dock vara från land mot havet.

6(35)

BILAGA B3 FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER
2019-11-15

FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER FÖR UTFYLLNAD I
NORRA HAMNEN

Eftersom nederbördsvatten infiltrerar inom Norra hamnen sker också en grundvattenbildning. Avrinning och grundvattenbildning påverkas av impermeabla ytor och dagvattenuppsamling. Då stora ytor så småningom kommer vara hårdgjorda minskar den andel av nettonederbörden som kan infiltrera och bilda grundvatten och yt-/dagvattenavrinningen ökar.

I Malmöregionen återfinns två akviferer, en i de övre jordlagren och en i kalkberggrunden. Akvifererna är oftast separerade med en tät, svårgenomsläpplig morän enligt avsnitt 3.3 ovan, som gör att grundvattnet i akvifererna inte står i direkt kontakt med varandra. Efter som aktuellt område inte är utfyllt saknas grundvatten i jordlager, och i framtiden förväntas grundvattnet i utfyllnaden inte stå i direkt kontakt med grundvattnet i kalkberggrunden.

3.5 Ytvatten

Ytvattenrecipienten runt utfyllnaden är Öresund. Med havet som recipient kommer en kraftig spädning att ske. Planerat utfyllnadsområde är beläget i vattenförekomsten *Malmö hamnområde*. Enligt senaste bedömningen uppnår vattenförekomsten inte god kemisk status (VISS, 2019).

3.6 Bakgrundshalter

Under sommaren 2019 utfördes en sedimentprovtagning inom och i anslutning till planerat utfyllnadsområde. Sedimentprovtagning utfördes i sex punkter inom området för planerad utfyllnad och fyra referenspunkter utanför området (Figur 1). Resultaten framgår av Tabell 3 nedan, punkter inom området är märkta med "EXP" och referenspunkterna med "REF".

Medelvärdena av uppmätta halter från provtagningen har använts som bakgrundshalter vid bedömning av påverkan på sediment (se avsnitt 7).

De uppmätta halterna varierar inom undersökningsområdet. Störst variation i halterna är det avseende PAH (klass 1-5), kadmium (klass 1-4), koppar (klass 1-4) och PCB (klass 1-4). I fem av sex punkter inom området för planerad utfyllnad har halter som faller inom klasserna 4 och 5 påvisats. I den sjätte punkten inom området för planerad utfyllnad och i de fyra referenspunkterna är halterna lägre, och faller som högst inom klass 3.

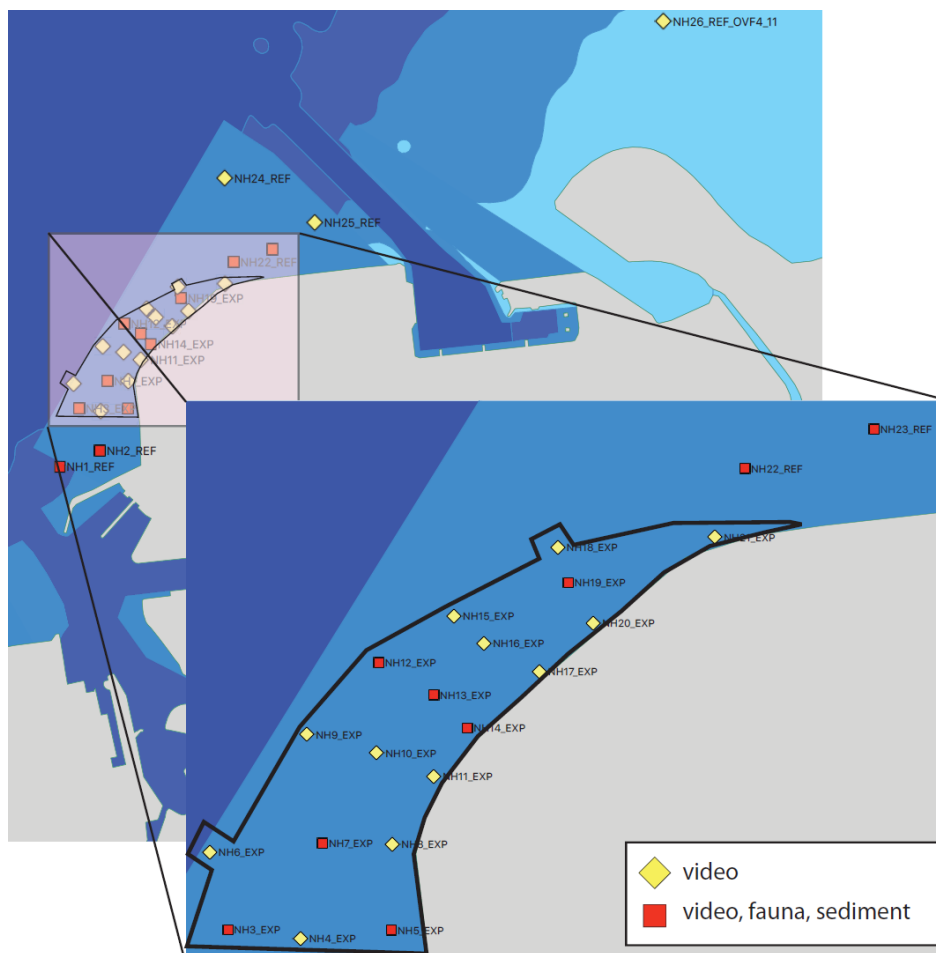
I flera av punkterna har enskilda PAH (naftalen och acenaften) inom summagruppern PAH-L påvisats i halter inom klass 4. Det saknas bedömningsgrunder för summagruppern PAH-L. Inom summagrupperna PAH-M och PAH-H har enskilda PAH påvisats i halter inom högre klasser än klassen för summagruppern. För PAH-M gäller det halter av fluoren, fenantren och antracen som uppmätts i klasserna 4 eller 5 i punkter där halten för summagruppern är i klass 3 eller 4. För PAH-H gäller det halter av benzo(a)antracen och krysen som uppmätts inom klasserna 4 eller 5 där halten för summagruppern är i klass 3 eller 4.

En jämförelse har också gjorts med effektbaserade bedömningsgrunder. Innan jämförelse med det effektbaserade värdet ska naturlig bakgrund subtraheras och uppmätt halt norm-

aliseras till 5 % TOC. Några mätningar avseende TOC har inte utförts, varför normalisering inte kunnat utföras. Uppmätta halter i området bedöms inte motsvara naturliga bakgrundshalter då området är påverkat av antropogena källor. Jämförelsen med effektbaserade bedömningsgrunder har därför gjorts direkt med de uppmätta halterna. Detta innebär ingen underskattning av risk så länge TOC-halten är minst 5 %.

I en punkt inom området för planerad utfyllnad uppgår den uppmätta kopparhalten till 64 mg/kg, vilket är i nivå med det effektbaserade värdet på 56 mg/kg. I tre punkter inom området för planerad utfyllnad överskrids det effektbaserade värdet för TBT.

Givet att TOC-halterna är minst 5% bedöms den generella nivån i området visa på halter under de effektbaserade värdena, med undantag för TBT. Medelvärdet av uppmätta halter av TBT är i nivå med det effektbaserade värdet. För övriga ämnen är halterna under de effektbaserade värdena, detta trots att bakgrundshalterna i Tabell 3 är påverkade av antropogena källor.



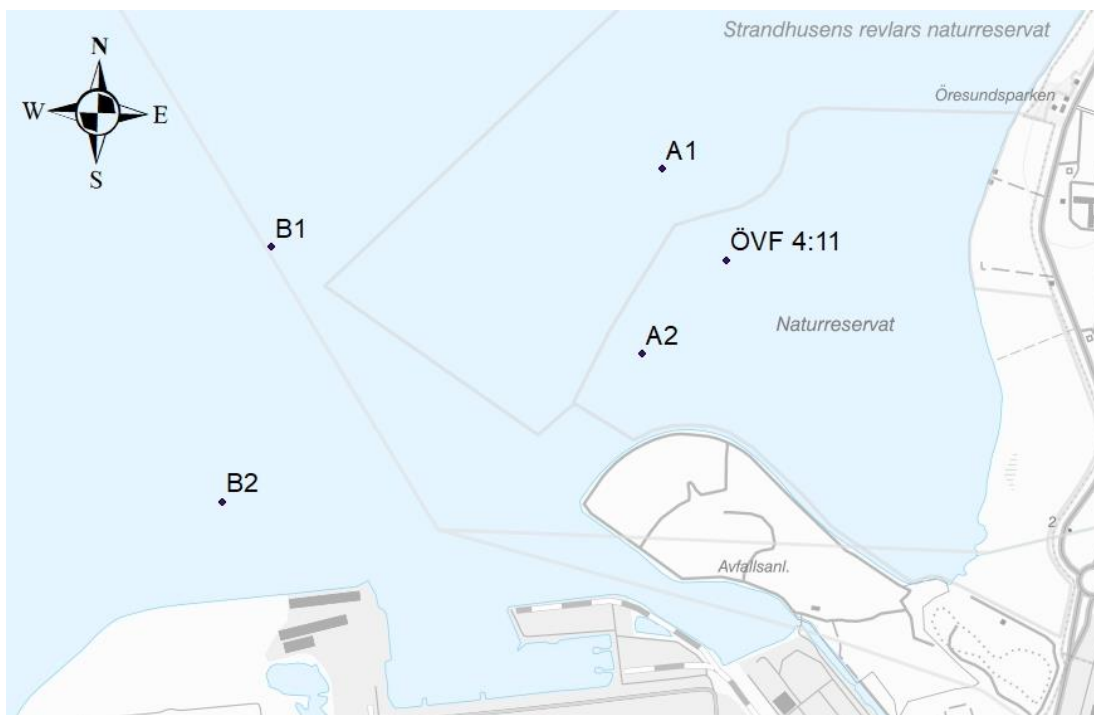
Figur 1 Visar utförda provtagningspunkter år 2019, inom och intill planerat område för utfyllnad. De röda punkterna avser provtagningspunkter för sediment. Det planerade utfyllnadsområdet är ungefärligt angivet.

Tabell 3 Resultaten från sedimentprovtagningen i juni 2019. Blå färg motsvarar klass 1: för metaller ingen eller obetydlig avvikelse och för organiska ämnen mycket låg halt. Grön färg motsvarar klass 2: liten avvikelse respektive låg halt. Gul färg motsvarar klass 3: tydlig avvikelse respektive medelhög halt. Orange färg motsvarar klass 4: stor avvikelse respektive hög halt. Röd färg motsvarar klass 5: mycket stor avvikelse respektive mycket hög halt. Samtliga halter anges i mg/kg TS.

Ämne	NH1_REF	NH2_REF	NH3_EXP	NH5_EXP	NH7_EXP	NH14_EXP	NH12_EXP	NH19_EXP	NH22_REF	NH23_REF	Medelvärde
Antimon	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	1,3
Arsenik	<2,5	<2,5	4,8	<2,5	2,6	2,6	4,2	<2,5	<2,5	<2,5	2,2
Barium	24	7,7	34	16	18	26	27	6,0	17	4,2	18
Bly	6,1	2,7	25	19	19	18	14	2,0	7,7	<2,0	11
Kadmium	<0,20	<0,20	0,39	2,1	<0,20	0,44	0,35	<0,20	0,21	<0,20	0,40
Kobolt	1,3	1,2	3,0	2,0	2,3	2,4	2,6	1,1	1,8	1,1	1,9
Koppar	<5,0	<5,0	20	8,3	64	14	12	<5,0	7,1	<5,0	14
Krom	4,5	4,0	12	6,1	8,9	12	11	2,9	7,0	2,6	7,1
Kvicksilver	0,027	<0,025	0,14	0,039	0,089	0,27	0,12	<0,025	0,042	<0,025	0,076
Molybden	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0,50
Nickel	2,6	3,3	8,8	5,0	6,4	7,4	7,6	2,3	5,1	2,5	5,1
Vanadin	5,7	<5,0	14	7,9	6,5	11	14	<5,0	8,2	<5,0	7,5
Zink	20	21	66	190	37	46	55	8,9	31	8,9	48
PAH L	<0,040	<0,040	0,071	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	0,089
PAH M	0,14	0,094	2,1	0,087	0,17	0,79	0,37	<0,015	0,11	<0,015	0,39
PAH H	0,30	0,092	1,6	0,11	0,15	0,65	0,54	<0,025	0,13	<0,025	0,36
PCB-7	0,0016	0,00045	0,015	0,0016	0,0060	0,0059	0,025	<0,001	0,0024	<0,0010	0,0059
Tributyltenn (TBT)	0,0015	<0,0010	0,0032	<0,0010	<0,0010	0,0021	0,0028	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0013

Det har tidigare utförts sedimentprovtagningar längre ut i Öresund, utanför Malmö hamnområde. Toxicon utförde år 1993 en provtagning på uppdrag av Malmö stads miljöförvaltning. Provtagning utfördes i fyra provpunkter (A1, A2, B1 och B2) (Figur 2). Vidare har Öresunds vattenvårdsförbund (ÖVF) provtagit sediment i en station (ÖVF 4:11) (Figur 2) utanför Spillepeng i Lommabukten vid två tillfällen, år 2011 (ÖVF, 2012) och år 2017 (ÖVF, 2018). Resultaten från dessa provtagningar har sammanställts i Tabell 4 med angivande av klass enligt bedömningsgrunder för marina sediment. I likhet med resultaten från provtagningen inom och intill aktuellt utfyllnadsområde varierar halterna i de punkter som utförts längre ut i havet. Framförallt varierar halterna med avseende på kvicksilver (klass 1-4).

Även för de tidigare utförda provtagningarna har en jämförelse mot effektbaserade värden gjorts. Också i det här fallet har en direkt jämförelse med uppmätta halter gjorts, det vill säga utan normering. Givet att TOC-halterna är minst 5% bedöms den generella nivån även längre ut i Öresund visa på halter under de effektbaserade bedömningsgrunderna. Som framgår av Tabell 4 saknas data avseende bland annat TBT från mätningarna längre ut.



Figur 2 Visar ungefärliga lägen för de provtagna punkterna utförda av Toxicon 1993 (Toxicon, 1993) samt Öresunds vattenvårdsförbund (ÖVF, 2012 och ÖVF, 2018). Bakgrundskarta ©Lantmäteriet.

Tabell 4 Resultaten från Malmö miljöförvaltnings provtagning 1993 och ÖVF:s kontrollprogram utanför Spillepeng, Lommabukten år 2011 och 2017 (ÖVF 4:11). Blå färg motsvarar klass 1: för metaller ingen eller obetydlig avvikelse och för organiska ämnen mycket låg halt. Grön färg motsvarar klass 2: liten avvikelse respektive låg halt. Gul färg motsvarar klass 3: tydlig avvikelse respektive medelhög halt. Orange färg motsvarar klass 4: stor avvikelse respektive hög halt. Samtliga halter anges i mg/kg TS.

Parameter	A1	A2	B1	B2	ÖVF 4:11 2011	ÖVF 4:11 2017	Medelvärde*
Arsenik	0,50	0,50	2,9	1,6	0,99	1,2	2,2
Bly	5,4	5,6	36	16	4,2	3,0	11
Kadmium	0,060	0,13	0,52	0,23	0,063	0,063	0,4
Kobolt	a.s.	a.s.	a.s.	a.s.	0,74	1,7	1,9
Koppar	6,9	6,3	41	18	49	6,4	14
Krom	1,1	2,2	31	16	2,4	5,5	7,1
Nickel	2,6	1,9	11	6,2	a.s.	5,3	5,1
Vanadin	a.s.	a.s.	a.s.	a.s.	a.s.	6,1	7,5
Zink	13	13	66	34	8,2	14	48
Kvicksilver	0,040	0,050	0,56	0,18	0,050	<0,040	0,076
PAH L	a.s.	a.s.	a.s.	a.s.	a.s.	0,64	0,089
PAH M	a.s.	a.s.	a.s.	a.s.	a.s.	1,3	0,39
PAH H	a.s.	a.s.	a.s.	a.s.	a.s.	0,023	0,36

a.s. = analysresultat saknas

*avser provtagning 2019 inom och i anslutning till det planerade utfyllnadsområdet

4 Förutsättningar för beräkning av haltkriterier

Haltkriterierna syftar till att säkerställa att tillkommande massor inte är skadliga för miljön på platsen, inte bidrar till oacceptabel spridning av föroreningar till ytvatten och sediment samt inte är skadliga för människors hälsa. Haltkriterierna har tagits fram med Naturvårdsverkets beräkningsverktyg för riktvärden för förorenad mark (Naturvårdsverket, 2016b).

Haltkriterierna har tagits fram utifrån följande utgångspunkter:

- Föroreningar i tillkommande massor ska inte utgöra en oacceptabel hälsorisk för människor som vistas på eller i närheten av utfyllnaden
- Spridning av föroreningar från området ska inte ge upphov till oacceptabel påverkan på ytvattenrecipienten
- Markmiljön inom området ska kunna stödja nödvändiga markfunktioner för aktuell markanvändning
- Resurshushållning ska eftersträvas vid valet av massor för utfyllnaden

4.1 Skyddsobjekt

Identifiering av skyddsobjekt har utgått från förutsättningar vid anläggandet av vallen samt planerad markanvändning inom utfyllnadsområdet. Utifrån markanvändning och de hydrogeologiska förutsättningarna har följande skyddsobjekt definierats:

- Människor
- Markmiljö
- Ytvatten och sediment (havet)

Människor avser personal och yrkesverksamma som antas kunna komma i kontakt med föroreningar. Vidare antas även besökande och förbipasserande kunna komma i kontakt med föroreningar. Besökare bedöms dock exponeras i mindre omfattning, då de endast tillfälligt besöker området.

Markmiljö avser markekosystemet i planerad utfyllnad. Markekosystemet ska stödja nödvändiga markfunktioner i den omfattning som behövs för den aktuella markanvändningen och som förekommer i omgivande områden.

Ytvatten och sediment avser de akvatiska ekosystemen i ytvattenrecipienten, det vill säga de närmsta delarna av Öresund. Sedimenten har dock inte beaktats vid beräkningen av haltkriterier eftersom det inte ingår i Naturvårdsverkets beräkningsverktyg. Istället har en separat bedömning gjorts avseende påverkan på sedimenten (se avsnitt 1.5 och 7).

Grundvatten har inte beaktats som ett eget skyddsobjekt, då konsumtion av grundvattnet inte bedöms bli aktuell i vare sig kortsiktigt eller långsiktigt perspektiv. Dels gör närheten till havet att saltvatteninträngning i grundvattnet kan förväntas och dels kommer området att utgöras av ett industriområde vilket också bidrar till att dricksvattenuttag sannolikt inte är lämpligt.

Vidare bedöms spridningen till kalkberget vara försumbar då grundvattnet i jordlagren och kalkberggrunden inte förväntas stå i direkt kontakt med varandra inom utfyllnadsområdet, utan avgränsas av lermoränen som överlagrar kalkberget. Därmed bedöms inte heller grundvattenakvifären i kalkberggrunden utgöra ett skyddsobjekt i det aktuella fallet.

4.2 Exponeringsanalys och antaganden

I detta avsnitt beskrivs vilka antaganden som gjorts avseende människors exponering för föroreningar i utfyllnadsmassorna i området.

Inom området som ska fyllas ut kan det bli aktuellt att uppföra byggnader och andra anläggningar kopplade till hamn-, logistik- och industriverksamheter. Människor kommer alltså att vistas i området i samband med arbete eller tillfälliga besök. Området kommer detaljplaneras som industriområde för hamnanknuten verksamhet.

För föroreningar i jord har exponeringsvägarna *inandning av ånga, intag av jord, hudkontakt med jord och damm* samt *inandning av damm* bedömts vara relevanta.

Intag av dricksvatten eller annan kontakt med grundvattnet bedöms inte vara aktuellt inom området då konsumtion av grundvattnet inte bedöms bli aktuell i ett kortsiktigt eller långsiktigt perspektiv, enligt avsnitt 4.1 ovan. Vidare bedöms exponeringsvägen *intag av växter* inte vara aktuellt inom ett industriområde. Huvuddelen av ytorna avses hårdgöras.

Enligt MKB:n kommer de massor som bedöms bli aktuella för utfyllnad av såväl vall som av området innanför vallen huvudsakligen utgöras av lermorän. Lermorän är relativt tät, men genomsläppligheten kommer också påverkas av hur hårt massorna packas vid utfyllnaden. Varifrån massor ska hämtas till utfyllnaden är inte känt och därmed inte heller massornas detaljerade egenskaper. I riskbedömningen har massorna antagits vara normaltäta för att inte underskatta risker samt för att täcka in en större variation av massor.

Massornas genomsläpplighet påverkar bland annat hur flyktiga föroreningar kan transporteras i marken och in i byggnader. Vid utomhusvistelse är utspädningen mycket stor, varför exponering via inandning av ångor inte bedöms vara relevant för områden som saknar byggnader.

Inom det område som ska fyllas ut planeras stora delar av ytorna vara hårdgjorda med asfalt eller bebyggas. När ytorna är färdigställda kommer människors exponering för föroreningar via exponeringsvägarna *intag av jord, hudkontakt med jord och damm* samt *inandning av damm* att minska.

Sammanfattningsvis bedöms människor exponeras för förekommande föroreningar i en omfattning som motsvarar eller är mindre än förutsättningarna för det generella scenariot för MKM, med hänsyn till att människor endast vistas i området i samband med arbete eller tillfälliga besök enligt ovan. I scenariot för MKM ingår även en vistelsetid på 60 dagar/år för barn, vilket för det här fallet bedöms vara konservativt. Samma vistelsetider som i det generella scenariot för MKM använts för att beräkna haltkriterier för skydd av människors hälsa.

4.3 Skydd av markmiljö

Aktuellt område kommer utgöras av konstgjord mark för logistik- och industriverksamheter. Ytorna kommer i huvudsak vara hårdgjorda eller bebyggda. Detta kommer i sig påverka möjligheterna för etablering av markekosystem. Huvuddelen av de tillförda

massorna kommer sannolikt ha låg halt organiskt material, vilket också begränsar möjligheterna för etablering av markekosystem.

De ekologiska funktioner som kan förväntas behöva stödjas vid den planerade markanvändningen är odling av prydnadsväxter, gräs och annan vegetation för att förhindra damning och erosion. Djur bör också tillfälligt kunna vistas inom området. Detta motsvarar förutsättningarna för skydd av markmiljö i det generella scenariot för MKM.

Skyddsnivån för MKM är 50 % av arterna och de ekologiska processerna. Denna skyddsnivå medför inte per automatik att 50 % av arterna påverkas, då metodiken för framtagandet av riktvärden bygger på koncentrationer av föroreningar där inga effekter kan ses. Skyddet kan därmed vara större än 50 %.

4.4 Spridningsförutsättningar och antaganden

4.4.1 Spridningsförutsättningar

Spridning av föroreningar kan komma att ske dels i samband med anläggandet av vallen och dels när utfyllnaden är klar. Förutsättningarna för spridning av föroreningar är väldigt olika i de båda situationerna.

Då fyllnadsmassorna tippas i vattnet i samband med anläggandet av vallen kommer en del spill att ske. Detta kommer medföra att en del av det finkorniga materialet i massorna kommer att bilda suspenderat material. Eventuella föroreningar, bundna till jordpartiklar, kommer spridas med det suspenderade materialet. Med tiden kommer det suspenderade materialet att sedimentera och därmed överlagra befintligt sediment i områden utanför utfyllnadsområdet.

Detta spill antas uppgå till omkring 5 – 10 % av det finkorniga materialet (5% används som generell tumregel vid beräkning av spill vid muddring). Baserat på detta samt mängden massor i vallen och andelen finmaterial har spillet beräknats till mellan 5 610 och 60 720 ton. Hur detta material sprids och var det sedimenterar har beräknats med en hydrodynamisk modell (Bilaga B2 till MKB). Spridning av föroreningar bundna till jord via partikeltransport förväntas enbart ske i samband med anläggandet av vallen och därmed ske under en begränsad period. Hur beräkningarna genomförts för att bedöma denna spridning framgår av avsnitt 7.1.

När utfyllnaden är klar förväntas föroreningar i massorna i huvudsak spridas genom att föroreningar bundna till jordpartiklar löses upp och transporteras med markvatten till grundvattnet, genom att ångor tränger upp till omgivande luft eller genom damning. Via grundvattnet kan föroreningar spridas vidare till ytvatten. Denna spridning kommer pågå under en längre period än spridningen av partiklar.

Spridningen påverkas både av de aktuella ämnenas olika egenskaper, som till exempel löslighet, och områdets förutsättningar, så som geologiska och hydrogeologiska egenskaper, till exempel genomsläpplighet och grundvattenflöde. Spridning via transport med markvatten till grundvatten ökar med ökande grundvattenbildning och vattenlösliga ämnen sprids i större omfattning än mindre vattenlösliga.

Med grundvattenbildning menas den del av nettonederbörden som infiltrerar och perkolerar ner till den mättade zonen. Grundvattenbildningens storlek beror dels på nettonederbördens storlek, dels på faktorer som jordart, topografi, avdunstningsförhållanden och vattenmättnaden i jordlagren. Man kan därför förvänta sig stora variationer i grundvattenbildning mellan olika områden. Grovkorniga jordar är mer genomsläppliga än finkorniga. Inom områden med stor andel hårdgjorda ytor och dagvattenuppsamling, till exempel centrala Malmö, kan grundvattenbildningen vara mycket låg, uppskattningsvis <25mm/år. I tätbebyggda områden, utanför de centrala delarna samt där det förekommer mindre genomsläppliga jordarter kan en grundvattenbildning på cirka 100 mm/år förväntas (VBB VIAK, 2000).

Spridning av föroreningar från jorden beror också på andelen organiskt material. Högre halter organiskt material i jorden medför att organiska föroreningar i större utsträckning binds till jorden vilket minskar spridningen till ånga och vatten. Den potentiella föroreninghalten i det vatten som via infiltration och grundvattentransport når ytvattenrecipient påverkas av halten förorening i fyllnadsmassorna samt föroreningarnas lakbarhet. Då det inte är känt vilka massor som kommer användas vid utfyllnaden går det heller inte att fastställa massornas detaljerade lakningsegenskaper. Därför har teoretiska parametrar och modellens generella Kd-värde (fördelningsfaktor) använts i beräkningen. Kd-värdena i modellen är satta för att inte underskatta lakningen i de flesta situationer (Naturvårdsverket, 2009).

I praktiken påverkas halten i vattnet även av spädning i övrigt grundvatten och kan påverkas av fastläggning i jord under transporten. I beräkningarna antas konservativt att ingen fastläggning sker och att ingen spädning sker med övrigt grundvatten.

Den resulterande halten i ytvattenrecipienten är en kombination av koncentrationer i det inläckande vattnet, grundvattenflödet samt recipientens storlek och utbyte med andra vattensamlingar, bakgrundshalter och annan eventuell belastning.

4.4.2 Spridningsantaganden grundvattenspridning

Detta avsnitt beskriver de antaganden som använts för att beräkna spridning via grundvatten. Antaganden avseende spridning med suspenderat material i samband med anläggandet av vallen beskrivs i avsnitt 7.

Som beskrivits ovan är de platsspecifika förutsättningar som påverkar spridning, till dels inomhusluft och dels ytvatten, massornas porositet och vattenhalt, innehållet av organiskt material samt när det gäller spridningen till ytvatten också grundvattenflödet. Som beräkningsförutsättning antas att massorna avseende porositet och vattenhalt är normaltäta. Andelen organiskt material har satts till 1 %, då massor kommer härstamma från både ytlig och djupare jord. Typiska halter är i ytlig jord cirka 2 % och djupare jord cirka 0,5 % (Naturvårdsverket, 2009).

Naturvårdsverkets beräkningsmodell är tillämpbar för jord både ovan och under grundvattenytan då den inkluderar två spridningsmodeller för spridning till grundvatten och ytvatten. I båda modellerna antas att jämvikt uppstår mellan föroreningar i de aktuella massorna och det vatten som är i kontakt med massorna. Skillnaden i de båda

modellerna är hur mängden vatten som kommer i kontakt med massorna skattas. För föroreningar ovan grundvattenytan antas mängden vatten som kommer i kontakt med massorna motsvara grundvattenbildningen. För föroreningar under grundvattenytan beräknas mängden vatten med Darcys lag. I föreliggande fall har beräkning av vattenmängder gjorts enligt båda metoderna och det mest konservativa alternativet har använts för att beräkna haltkriterier, se vidare nedan.

Att beräkna det framtida grundvattenflödet är förknippat med osäkerheter. Potentiella grundvattenflöden har beräknats på två sätt, dels utifrån grundvattenbildningen och dels med Darcys lag. Båda dessa sätt att beräkna grundvattenflöden finns med i Naturvårdsverkets beräkningsverktyg, där Darcys lag används vid beräkning av riktvärden för föroreningar under grundvattenytan. Beräkningarna har också gjorts i beräkningsverktyget. Grundvattenbildningen har enbart beräknats för det planerade utfyllnadsområdet. Det är dock möjligt att en del av intilliggande områden också kommer att bidra till grundvattenflödet i det planerade utfyllda området. Beräkningen med Darcys lag tar hänsyn även till eventuellt tillkommande vatten från uppströms belägna områden. Vilka indata som behövs för beräkningen av grundvattenflöden i Naturvårdsverkets beräkningsverktyg framgår av Tabell 5.

Tabell 5 Indata till beräkning av grundvattenflöden i Naturvårdsverkets beräkningsverktyg.

Parameter	Beräkning
Grundvattenbildning	Förorening ovan grundvattenytan
Områdets längd (i grundvattenflödets riktning)	Förorening ovan grundvattenytan
Områdets bredd (vinkelrätt mot grundvattenflödet)	Båda beräkningarna
Hydraulisk konduktivitet	Förorening under grundvattenytan
Hydraulisk gradient	Förorening under grundvattenytan
Mäktighet under grundvattenytan	Förorening under grundvattenytan

Grundvattenbildningen har skattats till 100 mm per år för det aktuella området. Allt eftersom området bebyggs och asfalteras kommer grundvattenbildningen minska. Den mindre permeabla lermoränen bidrar dock till en mindre grundvattenbildning än en genomsläpplig jordart. Med en grundvattenbildning på 100 mm i det cirka 250 000 m² stora området¹ kan grundvattenflödet skattas till cirka 25 000 m³/år.

Med Darcys lag beräknas grundvattenflödet utifrån den hydrauliska konduktiviteten, den hydrauliska gradienten och tvärsnittsarean som grundvattnet flödar genom. Jämfört med att beräkna grundvattenbildningen är osäkerheterna större baserat på Darcys lag då den hydrauliska konduktiviteten kan variera mycket också inom ett område. Den planerade utfyllnaden kommer till stor del utföras med lermorän. Den hydrauliska konduktiviteten i lermorän varierar typiskt mellan cirka 10⁻⁸ och 10⁻¹¹ m/s (Naturvårdsverket, 1999b). Eftersom utfyllnaden också kommer inkludera andra material och det kan antas att det

¹ Markytan anges i MKB:n till 236 000 m², för beräkningarna har 250 000 m² använts.

utfyllda området kan bli mindre tätt än motsvarande naturligt material har en högre konduktivitet, 10^{-6} använts för beräkningarna.

Också gradienten är osäker. Grundvattnet bedöms följa vattennivån i havet om än med viss fördröjning. Vid en nivåövervakning som utfördes i Oljehamnen 2018 var gradienten mot havet 0,02 m/m, baserat på mätning i den punkt som placerats närmast havet (Sweco, 2018). Vid ett annat, närliggande utfyllnadsområde i Malmö, Västra hamnen, har den högsta grundvattennivån (+0,9) påträffats cirka 300 m öster om hamnpromenaden (VBB VIAK, 1999). Detta ger en gradient på 0,003 m/m antaget en havsnivå på ± 0 . I vallarna som omger området bedöms gradienten kunna bli större, då grundvattennivån längre in från kanten i mindre grad påverkas av havets nivåvariationer. Både Oljehamnen och Västra hamnen är dock utfyllda till stor del med sand, vilket medför större genomsläpplighet än vad som förväntas i det aktuella området. En gradient på 0,01 m/m har valts i beräkningen som bedöms kunna representera hela utfyllnaden. Nettoflödet har baserat på dessa parametrar beräknats till cirka 6 000 m³/år.

Eftersom havsnivåerna varierar och kan påverka grundvattennivåerna i området är det möjligt att grundvattenflödet till Öresund blir större än nettoflödet. Detta orsakas i så fall av att när havsnivån stiger strömmar havsvatten in i området och när havsnivån sjunker strömmar grundvatten ut ur området. Hur mycket detta påverkar flödet är osäkert, men en iterativ beräkning har gjorts för att bedöma detta, se Bilaga B3-4. Det extra flöde som kan uppstå på grund av havsnivåförändringar har beräknats till cirka 3 000 – 6 000 m³/år.

Det totala grundvattenflödet har, baserat på beräkningarna ovan, antagits vara cirka 31 000 m³/år. Flödet som är beräknat baserat på grundvattenbildningen, 25 000 m³/år, har använts då osäkerheterna i denna beräkning bedöms vara mindre än i beräkningen med Darcys lag. För att ta hänsyn till flödet som kan uppstå vid nivåförändringar i havet har 6 000 m³/år adderats, vilket ger ett flöde på 31 000 m³/år. Detta flöde har använts för att beräkna utspädningsfaktorn. Flödet antas vara jämnt fördelat över året samt ske längs hela utfyllnadens yttre kant, 1 800 m.

I Öresund kommer mycket omfattande spädning av grundvattnet att ske. Den förväntade utspädningen av det grundvatten som strömmar ut från den planerade utfyllnaden till Öresund har beräknats med en hydrodynamisk modell (Bilaga B2 *Hydrodynamisk modellering* till MKB:n). Vid ett grundvattenflöde på 31 000 m³/år fås en spädning på minst 14 000 gånger på ett avstånd av 50 m från strandkanten. Den angivna spädningen är baserad på de maximala koncentrationerna som uppstår under hela simuleringsperioden och motsvarar därför de sämsta spädningsförhållandena under denna period. Baserat på medelhalter blir den beräknade spädningen cirka 50 000 gånger. Någon utspädningsfaktor närmre strandkanten är inte möjlig att beräkna med hänsyn till modellens upplösning. Utspädningsfaktorn 14 000 gånger har använts vid beräkningen av haltkriterier, se avsnitt 5 nedan, som tar hänsyn till vilken spridning som ger en acceptabel påverkan på recipienten.

De områdesspecifika parametrar som beskriver spridningsförutsättningarna för området redovisas i Tabell 6.

Tabell 6 Platsspecifika data avseende spridningsförutsättningar som använts.

Parameter	Värde	Referens
Torrdensitet (kg/dm ³)	1,5	Normaltäta jordar (Naturvårdsverket, 2009)
Porositet (dm ³ / dm ³)	0,4	Normaltäta jordar (Naturvårdsverket, 2009)
Vattenhalt i jorden (dm ³ / dm ³)	0,32	Normaltäta jordar (Naturvårdsverket, 2009)
Lufthalt i jorden (dm ³ / dm ³)	0,08	Normaltäta jordar (Naturvårdsverket, 2009)
Halt organiskt kol (kg/kg)	0,01	Satts till 1 %, då både ytlig och djupare jord förväntas användas vid utfyllnaden
Halt löst/mobilt organiskt kol i grundvatten (kg/dm ³)	3*10 ⁻⁶	Normaltäta jordar (Naturvårdsverket, 2009)
Egen utspädningsfaktor, porvatten till ytvatten (ggr)	14 000	Framtagen med hydrodynamisk modell utifrån grundvattenflödet

5 Haltkriterier

Haltkriterier för de massor som ska användas vid planerad utfyllnad har beräknats med Naturvårdsverkets beräkningsverktyg för riktvärden för förorenad mark. Haltkriterierna syftar till att skydda människors hälsa och miljö. Uttagsrapport från beräkningsverktyget redovisas i Bilaga B3-1.

Sökande har också valt att för de massor som används för vallen begränsa haltkriterierna så att inga haltkriterier ska överstiga klassgränsen mellan klass 4 och klass 5 enligt bedömningsgrunder för marina sediment. Denna begränsning är en försiktighetsåtgärd efter synpunkter som framkommit vid samråd. För metaller används klassgränser enligt Naturvårdsverkets rapport 4914 (Naturvårdsverket, 1999a) och för organiska ämnen SGU:s rapport 2017:12 (Josefsson, 2017).

De framtagna haltkriterierna redovisas i Tabell 7 nedan. För huvuddelen av parametrarna är skydd av markmiljön styrande, men för arsenik, kvicksilver, alifater >C5-C8 och >8-C10, bensen, PAH-M och PCB7 är skydd av människors hälsa styrande. För tributyltenn (TBT) är skydd av ytvatten styrande.

Tabell 7 *Framtagna haltkriterier samt styrande skyddsobjekt för haltkriteriet. I de fall haltkriteriet justerats med hänsyn till klassgränsen mellan klass 4 och 5 enligt bedömningsgrunder har det markerats med kursiv stil i tabellen. Samtliga halter anges i mg/kg TS.*

Ämne	Haltkriterier utfyllnad	Haltkriterier vall	Styrande skyddsobjekt
Antimon	40	40	Markmiljö
Arsenik	25	25	Människors hälsa, intag av jord
Barium	300	300	Markmiljö
Bly	400	110	Markmiljö
Kadmium	12	3,0	Markmiljö
Kobolt	35	35	Markmiljö
Koppar	200	80	Markmiljö
Krom	150	72	Markmiljö
Kvicksilver	2,5	1,0	Människors hälsa, inandning ånga
Molybden	150	150	Markmiljö
Nickel	120	99	Markmiljö
Vanadin	200	200	Markmiljö
Zink	500	360	Markmiljö
Alifat >C5-C8	100	100	Människors hälsa, inandning ånga
Alifat >C8-C10	70	70	Människors hälsa, inandning ånga
Alifat >C10-C12	500	500	Markmiljö
Alifat >C12-C16	500	500	Markmiljö
Alifat >C16-C35	1 000	1 000	Markmiljö
Aromat >C8-C10	50	50	Markmiljö
Aromat >C10-C16	15	15	Markmiljö
Aromat >C16-C35	40	40	Markmiljö
Bensen	0,60	0,60	Människors hälsa, inandning ånga
Toluen	50	50	Markmiljö
Etylbensen	50	50	Markmiljö
Xylen	50	50	Markmiljö
PAH L	15	15	Markmiljö
PAH M	10	1,7	Människors hälsa, inandning ånga
PAH H	10	2,6	Markmiljö
PCB-7	0,25	0,034	Människors hälsa, intag av jord
Tributyltenn (TBT)	0,6	0,055	Skydd av ytvatten

6 Medelhalter i kontrollerade massor som tillförts utfyllnader i Norra hamnen

Som anges i avsnitt 3 har Malmö hamn vuxit successivt genom utfyllnader. Under senare år har hamnen expanderat i och med utfyllnadsområdet Norra hamnen.

Enligt tillståndet för utfyllnadsområdet i Norra hamnen ska utfyllnadsmassorna innehålla de generella riktvärdena för MKM avseende innehåll av föroreningar. Massor som tillfördes området kom från ett flertal olika exploaterings- och efterbehandlingsområden.

Nedan redovisas exempel på medelhalterna för tre olika projekt varifrån massor tillfördes Norra hamnen. Massorna och dess halter bedöms dock vara representativa även för övriga massor som tillfördes Norra hamnen då de utgjorde typiska projekt varifrån massor med halter mellan riktvärdena för KM och MKM kan härstamma. Dessa massor kan ungefär förväntas motsvara den typ av massor som kan komma att nyttjas även för den planerade utfyllnaden.

Vid klassificering av massor utifrån föroreningshalt vid efterbehandlingsprojekt jämförs samtliga uppmätta halter mot respektive riktvärden. Klassificeringen utgår från den eller de parametrar som ger den sämsta klassificeringen. Detta innebär att för majoriteten av parametrarna kan halterna underskrida riktvärden för både MKM och KM med god marginal trots att massorna klassificeras som "MKM-massor". Den klassificeringen innebär att minst ett ämne har halter över KM men under MKM för den enskilda provtagningsvolymen.

6.1 Cementen NCC

Vid exploateringen av kv. Cementen i Limhamn i Malmö transporterades massor med halter över KM men under MKM till Norra hamnen för utfyllnad. Totalt cirka 14 000 ton gick till Norra hamnen.

Inför efterbehandlingen uttogs samlingsprover i ett rutnät med cirka 20x20 m stora rutor. Sammanlagt har 62 samlingsprov analyserats för tungmetaller inklusive arsenik samt PAH, alifater och aromater (Malmö stad, 2016a). Beräkningar av medelhalter (aritmetiskt medelvärde) har utförts på uppmätta halter i de prover som skickades till Norra hamnen. Medelhalterna framgår av

20(35)

BILAGA B3 FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER
2019-11-15

FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER FÖR UTFYLLNAD I
NORRA HAMNEN

Tabell 8 tillsammans med en jämförelse mot riktvärdena för MKM och nu framtagna haltkriterier.

Resultaten visar att medelhalterna i dessa massor underskred riktvärdena för MKM. De ämnen som påvisades i högst halter i förhållande till riktvärdena för MKM var kadmium och PAH-H. Medelvärdet av uppmätta halter uppgick för dessa ämnen till cirka 5 respektive 28 % av riktvärdena för MKM.

Medelhalterna i de massor som tillsänts Norra hamnen från kv. Cementen underskred därmed riktvärdena för MKM med god marginal.

Tabell 8 Medelhalter inom Cementen, NCC. Halterna jämförs mot riktvärdena för MKM som gällde vid utvärderingen av resultaten (Naturvårdsverket, 2009). I de fall det är skillnader anges nu gällande MKM-riktvärde inom parentes (Naturvårdsverket, 2016a).

Parameter	Medelhalt (mg/kg TS)	Riktvärde för MKM (mg/kg TS)	Haltkriterier utfyllnad (mg/kg TS)	Haltkriterier vall (mg/kg TS)
Arsenik	6,4	25	25	25
Barium	32,4	300	300	300
Bly	26,5	400	400	110
Kadmium	0,7	15 (12)	12	3,0
Kobolt	3,4	35	35	35
Koppar	29,6	200	200	80
Krom tot	12,3	150	150	72
Kvicksilver	0,05	2,5	2,5	1,0
Molybden	9,3	100	150	150
Nickel	7,9	120	120	99
Vanadin	15,6	200	200	200
Zink	57,5	500	500	360
PAH L	0,4	15	15	15
PAH M	2,8	20	10	1,7
PAH H	2,8	10	10	2,6
Alifater >C8-C10	5,0	120	70	70
Alifater >C10-C12	5,0	500	500	500
Alifater >C12-C16	5,0	500	500	500
Alifater >C16-C35	10,1	1 000	1 000	1 000
Aromater >C8-C10	10	50	50	50
Aromater >C10-C16	3,0	15	15	15
Aromater >C16-C35	1,4	30	40	40

22(35)

BILAGA B3 FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER
2019-11-15

FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER FÖR UTFYLLNAD I
NORRA HAMNEN

6.2 Muddermassor Industrihamnsrännan

I samband med muddringen av Industrihamnsrännan år 2007 uttogs delprover på de upp-muddrade sedimentmassorna (320 000 ton) som sedermera användes för utfyllnad i Norra hamnen.

Sammanlagt uttogs 14 prover på muddermassorna och de analyserades för tungmetaller inklusive arsenik samt PAH och tennorganiska föreningar (DBT, MBT och TBT) (Malmö stad, 2016b). Beräkningar av medelhalter (aritmetiskt medelvärde) har utförts för vardera parameter, inklusive för PAH Övriga och PAH Cancerogena.

Medelhalterna jämförs mot riktvärdena för MKM och nu framtagna haltkriterier. År 2007 var PAH-fraktionerna ännu inte uppdelade i grupperna PAH-L, PAH-M och PAH-H, som kom år 2009. Då delades de upp i PAH Övriga samt PAH Cancerogena. Dessa grupper har därför jämförts mot riktvärdena för de nya grupperingarna som motsvaras av PAH-M respektive PAH-H. Medelhalterna framgår av

Tabell 9.

Beräkningarna visar att medelhalterna för samtliga ämnen/grupper underskrider riktvärdena för MKM. Medelhalterna motsvarade 1 – 11 % av riktvärdena för MKM. Därmed underskreds riktvärdena för MKM med god marginal.

24(35)

BILAGA B3 FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER
2019-11-15

FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER FÖR UTFYLLNAD I
NORRA HAMNEN

Tabell 9 Medelhalter i muddermassor från Industrihamnsrännan. Halterna jämförs mot riktvärdena för MKM som gällde vid utvärderingen av resultaten (Naturvårdsverket, 1996). I de fall det är skillnader anges nu gällande MKM-riktvärde inom parentes (Naturvårdsverket, 2009).

Parameter	Medelhalt (mg/kg TS)	Riktvärde för MKM (mg/kg TS)	Haltkriterier utfyllnad (mg/kg TS)	Haltkriterier vall (mg/kg TS)
Arsenik	2,8	40 (25)	25	25
Bly	18,3	300 (400)	400	110
Kadmium	0,3	12	12	3,0
Kobolt	3,6	250 (35)	35	35
Koppar	15,9	200	200	80
Krom tot	11,3	250 (150)	150	72
Kvicksilver	0,1	7 (2,5)	2,5	1,0
Nickel	10,3	200 (120)	120	99
Vanadin	10,1	200	200	200
Zink	48,6	700 (500)	500	360
PAH Övriga	0,3	40 (20 PAH-M)	10 (PAH-M)	1,7 (PAH-M)
PAH Cancerogena	0,4	40 (10 PAH-H)	10 (PAH-H)	2,6 (PAH-H)
MBT	0,010	(1,5)		
DBT	0,011	(5)		
TBT	0,014	(0,3)	0,6	0,055

6.3 Malmö Live

I samband med byggandet av Malmös nya konsert- och kongresshus, Malmö Live (vilket också inkluderar hotell och bostäder) på Universitetsholmen i centrala Malmö transporterades cirka 85 000 ton massor, med halter över KM men under MKM, till Norra hamnen.

En rutnätsprovtagning genomfördes på samma sätt som för Cementen (avsnitt 6.1). Sammanlagt analyserades cirka 300 samlingsprov (Malmö stad, 2016c). För samtliga analyserade parametrar har medelhalter (aritmetiska medelvärden) beräknats. Halter under rapporteringsgränsen har vid beräkningen av medelhalt ansatts till halva rapporteringsgränsen. Halterna jämförs mot riktvärdena för MKM och nu framtagna haltkriterier, se Tabell 10.

De ämnen som påvisades i högst halter i förhållande till riktvärdena för MKM var bly, kvicksilver, aromater (>C10-C16), PAH-M och PAH-H. Medelhalterna för dessa parametrar uppgick till 16 – 28 % av riktvärdena för MKM. Medelhalterna underskred därmed riktvärdena för MKM med god marginal.

Tabell 10 Medelhalter inom Malmö Live, KKH. Halterna jämförs mot riktvärdena för MKM som gällde vid utvärderingen av resultaten (Naturvårdsverket, 2009). I de fall det är skillnader anges nu gällande MKM-riktvärde inom parentes (Naturvårdsverket, 2016a).

Parameter	Medelhalt (mg/kg TS)	Riktvärde för MKM (mg/kg TS)	Halkriterier utfyllnad (mg/kg TS)	Halkriterier vall (mg/kg TS)
Arsenik	4,4	25	25	25
Barium	70,5	300	300	300
Bly	62,9	400	400	110
Kadmium	0,2	15 (12)	12	3,0
Kobolt	3,9	35	35	35
Koppar	38,2	200	200	80
Krom tot	13,0	150	150	72
Kvicksilver	0,44	2,5	2,5	1,0
Nickel	10,6	120	120	99
Vanadin	15,5	200	200	200
Zink	72,0	500	500	360
Alifater >C8-C10	2,5	120	70	70
Alifater >C10-C12	2,5	500	500	500
Alifater >C12-C16	5,4	500	500	500
Alifater >C16-C35	50	1000	1 000	1 000
Aromater >C8-C10	5,0	50	50	50
Aromater >C10-C16	3,7	15	15	15
Aromater >C16-C35	3,6	30	40	40
PAH-L	0,4	15	15	15
PAH-M	3,1	20	10	1,7
PAH-H	2,8	10	10	2,6

26(35)

BILAGA B3 FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER
2019-11-15

FRAMTAGANDE AV HALTKRITERIER FÖR UTFYLLNAD I
NORRA HAMNEN

6.4 Samlad bedömning av övriga utfyllnadsmassor

Avsnitt 6.1 – 6.3 visar att medelhalterna i de kontrollerade massor som använts i utfyllnadsområdena i Norra hamnen är betydligt lägre än de haltkriterier som gällde för projektet. I projektet användes MKM som haltkriterier för fyllnadsmassor, men beräkningar visade att medelhalterna i massorna från tre typiska projekt uppgick till 1 – 28 %, 1 – 11 % respektive 16 – 28 % av riktvärdena för MKM.

Detta kan förväntas gälla generellt, eftersom det i princip inte är möjligt att finna massor med ämneshalter som precis motsvarar haltkriterierna för samtliga studerade ämnen.

7 Påverkan på sediment

I samband med att vallen anläggs under utfyllnadsarbetet kommer massor tippas ner i havet och visst spill av material kommer förekomma. Detta spill kommer innebära att partiklar från utfyllnadsmassorna sprids från området i form av suspenderat material. Vidare kommer det suspenderade materialet transporteras med havsströmmarna och slutligen sedimentera på botten, vilket kan påverka halterna i sediment i områden kring den planerade utfyllnaden.

När vallen är klar kommer utfyllnaden fortsätta ske innanför vallen och ingen vidare spridning av suspenderade partiklar bedöms kunna ske enligt Bilaga B2 *Hydrodynamisk modellering* till MKB:n (se avsnitt 7.1 nedan).

För att bedöma påverkan på sedimenten har en beräkning utförts avseende vilka halter som kan förväntas i sedimenten.

7.1 Spridning av suspenderat material och sedimentation

Den hydrodynamiska modellen har använts för att beräkna tänkbara halter av suspenderat material och deras geografiska spridning samt beräkna inom vilket område finmaterialet kan komma att sedimentera under anläggningsskedet. En utförligare beskrivning av modelleringen framgår av Bilaga B2 *Hydrodynamisk modellering* till MKB:n.

Av andelen finmaterial har spillet beräknats till mellan 5 610 och 60 720 ton. Samtliga beräkningar har utgått från att den totala mängden finmaterial (mindre än 0,063 mm) som spills i samband med anläggandet av vallen är den högsta beräknade, det vill säga 60 720 ton. Den minsta mängden, det vill säga 5 610 ton, motsvarar cirka 9 % av den mängd som använts i beräkningarna. De resultat som modellen visar med avseende på suspenderat och sedimenterat material är därmed konservativa.

Modelleringen utgår ifrån att 10 % av partiklarna spills från vallen. Spridning, spädning och sedimentation beror på de kraftigt varierande strömmarna i Öresund.

Modellresultaten visar bland annat hur tjockt lagret av sediment förväntas bli i samband med tippningen av fyllnadsmassorna för att anlägga vallen vid strömningsförhållanden som motsvarar nuläget respektive med utfyllnad.

Lagret av de sedimenterade partiklarna beräknas inom vissa områden uppnå en tjocklek som överstiger 1 cm. Enligt beräkningarna kommer denna tjocklek förekomma inom ett avstånd av maximalt 250 m utanför utfyllnadsområdet i riktning mot öppet vatten. Tun-nare lager, vars tjocklek överstiger 1 mm beräknas sträcka sig 4 km i sydvästlig riktning samt 2 km i nordlig riktning sett från utfyllnadsområdet. På sikt kan en del av det mer finkorniga materialet transporteras vidare från dessa områden på grund av höga ström-hastigheter vid botten (dessa och befintliga naturliga partiklar kan alltså resuspenderas/eroderas från havsbotten).

7.2 Maximala halter i sediment

Den naturliga sedimentationen i aktuellt område är inte känd, men bedöms vara liten. Viss sedimentation bedöms dock kunna ske, då strömhastigheterna på botten bedöms kunna resuspendera/erodera finkornigt material (se vidare i Bilaga B2 till MKB). De ytligaste sedimenten är av störst betydelse för påverkan på miljön.

Utifrån resultaten från den hydrodynamiska modellen och de framtagna haltkriterierna har maximala halter i sediment beräknats. Beräkningen har gjorts för ytsediment 0 – 2 cm och för två scenarier avseende tillkommande sediment från utfyllnaden: 1 cm motsvarande området närmast utfyllnaden och 0,5 cm.

Beräkning av maximala halter i sediment har gjorts genom att beräkna halter i de ytligaste 2 cm om 1 respektive 0,5 cm utgörs av massor från utfyllnaden av vallen och resterande sediment har halter motsvarande bakgrundshalter enligt avsnitt 3.6. Bakgrundshalten har antagits vara 0 mg/kg för de parametrar där data saknas, vilket gör de beräknade halterna osäkra och den verkliga halten underskattas sannolikt. Detta bedöms dock vara det bästa alternativet för att bedöma halterna i sedimenten. Massorna från vallen antas för samtliga ämnen ha halter motsvarande de framtagna haltkriterierna för vallen, vilket enligt resonemang ovan i avsnitt Medelhalter i kontrollerade massor som tillförts utfyllnader i Norra hamnen 6 innebär ett konservativt antagande (Tabell 7). De beräknade maximala halterna redovisas i Bilaga B3-2.

De beräknade maximala halterna har jämförts med bedömningsgrunder för marina sediment. Jämförelsen visar att de beräknade maximala halterna av PAH-M och PCB faller inom klass 4 både vid 1 cm tillkommande sediment och vid 0,5 cm tillkommande sediment. För kadmium, kvicksilver, PAH-H och TBT är de beräknade halterna i klass 4 vid 1 cm tillkommande sediment och klass 3 vid 0,5 cm tillkommande sediment. För övriga metaller faller de beräknade halterna som högst inom klass 3.

Vidare överskrider de beräknade halterna av TBT Havs- och vattenmyndighetens effekt-baserade bedömningsgrund. Ingen normering mot TOC har gjorts då det saknas uppgift om TOC i befintliga sediment. Tillkommande massor från utfyllnaden har sannolikt lägre innehåll av TOC än 5 % (se avsnitt 4.4.2) vilket innebär att en normering skulle höja halterna som därmed skulle överskrida bedömningsgrunden även vid 0,5 cm tillkommande sediment. För övriga parametrar underskrider de beräknade halterna de effekt-baserade bedömningsgrunderna och det indikativa värdet för kvicksilver överskrider inte.

7.3 Förväntade halter i sediment

Spridningen av föroreningar till sedimenten beror på den totala föroreningsmängden i de massor som används för utfyllnaden av vallen och inte av halten i enskilda prov. Dock saknas information om faktiska halter i massor som ska användas för utfyllnaden och därför utgår beräkningen i avsnitt 7.2 från att *medelhalterna* i de massor som tillförs vallen motsvarar de framtagna haltkriterierna för vallen. Detta innebär dock en överskattning av vad halterna kan förväntas vara i de massor som kommer att tillföras området. Massor som klarar de framtagna haltkriterierna för vallen kommer att ha halter i nivå med haltkriterierna för ett fåtal parametrar, om halten av någon parameter överskrider haltkriterierna kan massorna inte användas. Vidare kommer de halter som är i nivå med haltkriterierna enbart förekomma i mindre delvolym, då massor kommer hämtas från olika platser, där halterna kan förväntas variera. Halterna kommer dessutom att variera. Att ansätta en representativ halt som motsvarar haltkriterierna är därför att kraftigt överskatta de halter som kan förväntas.

Vid tidigare utfyllnader i Norra hamnen har riktvärdena för MKM använts som haltkriterier. För flera parametrar, exempelvis PAH-M, har tidigare haltkriterier (MKM) varit högre än nu beräknade haltkriterier för vallen (Tabell 7). En genomgång av massor som använts för utfyllnaden visar att medelhalterna i massorna var avsevärt lägre än de haltkriterier som användes, det vill säga MKM². Medelhalterna var också i de flesta fall avsevärt lägre än de nu framtagna haltkriterierna för vallen. Halterna av PAH-M och PAH-H i massorna från Cementen NCC och Malmö Live överskrider dock haltkriterierna för vallen.

För att göra en mer realistisk bedömning har medelhalterna från de tre projekten använts för att beräkna förväntade halter i sediment. Beräkningen har gjorts på samma sätt som beräkningen av maximala halter i avsnitt 7.2. Massor som liknar dem från de tre beskrivna projekten kan förväntas också i den sökta utfyllnaden. Resultaten från beräkningen redovisas i Bilaga B3-3. De beräknade förväntade halterna är generellt lägre än de halter som redovisas i Bilaga B3-2.

De beräknade förväntade halterna har jämförts med bedömningsgrunder för marina sediment. För kvicksilver faller de beräknade förväntade halterna baserade på massor från Malmö Live inom klass 3 både vid 0,5 cm och 1 cm tillkommande sediment. För kadmium faller den beräknade förväntade halten baserad på massor från Cementen NCC i klass 3 vid 1 cm tillkommande sediment. Alla andra beräknade förväntade halter av metaller faller inom klass 1 eller 2.

Avseende organiska ämnen som det finns bedömningsgrunder för, finns data från de tre projekten för PAH-M och PAH-H. För muddermassor finns data även för TBT. Den beräknade förväntade halten av PAH-M i sediment baserad på massor från Cementen NCC och vid 1 cm tillkommande sediment faller inom klass 5, övriga beräknade förväntade halter av PAH-M faller inom klass 4. För PAH-H faller de beräknade förväntade halterna baserade på massor från Malmö Live och Cementen NCC inom kategori 4 och

² Notera att riktvärdena för MKM har ändrats vid flera tillfällen under den period som utfyllnader har pågått i Norra hamnen

halterna baserade på muddermassor inom kategori 3. Det ska i sammanhanget poängteras att halterna av PAH-M och PAH-H från både Malmö Live och Cementen NCC överskrider de framtagna haltkriterierna för vallen. Därmed överskrider också de beräknade förväntade halterna de beräknade maximala halterna för dessa parametrar.

Avseende TBT finns resultat endast från muddermassor. Muddermassor kan misstänkas innehålla högre halter av TBT än den generella nivån i utfyllnadsmassorna. De beräknade förväntade halterna motsvarar kategori 3.

7.4 Bedömning av påverkan

Det aktuella området ligger i anslutning till ett område som är ett utfyllnadsområde och där haltkriterier som är högre än nu föreslagna haltkriterier har använts och där utfyllnaden har gjorts på ett liknande sätt. Det kan därför förväntas att sedimenten i området är påverkade av spill från tidigare utfyllnad. Resultaten från nu utförda undersökningar visar på varierande halter inom och i anslutning till området för planerad utfyllnad. Ingen generell påverkan inom området kan ses.

De andra provtagningar som utförts utanför Malmö hamnområde visar också på varierande halter, även om variationen är mindre än inom nu undersökt område. De tidigare provtagningarna visar på halter ungefär i nivå med nu undersökt område. Dock förekommer inom nu undersökt område enstaka punkter med betydligt högre halter. Sammantaget indikerar detta att planerat område för utfyllnad inte är väsentligt påverkat av befintlig utfyllnad.

En beräkning av maximala och förväntade halter i sediment har utförts vilket beskrivs i avsnitt 7.2 och 7.3 ovan. För att göra en bedömning av påverkan på sediment från spridning av partiklar i samband med anläggande av vallen, har i Tabell 11 en sammanställning av högsta beräknade förväntad halt vid 0,5 respektive 1 cm tillkommande sediment samt bakgrundshalter gjorts. I tabellen redovisas de parametrar där det finns bedömningsgrunder för sediment samt de parametrar för vilka det finns information om bakgrundshalter i sediment. Halterna av PAH-M och PAH-H från Cementen och Malmö Live överskrider framtagna haltkriterier för vallen. Därför redovisas i tabellen de maximala beräknade halterna. Även för PCB redovisas de beräknade maximala halterna då det saknas data för beräkning av förväntade halter.

Tabell 11 Högsta beräknade förväntade halter i sediment samt bakgrundshalter. Blå färg motsvarar klass 1: för metaller ingen eller obetydlig avvikelse och för organiska ämnen mycket låg halt. Grön färg motsvarar klass 2: liten avvikelse respektive låg halt. Gul färg motsvarar klass 3: tydlig avvikelse respektive medelhög halt. Orange färg motsvarar klass 4: stor avvikelse respektive hög halt. Samtliga halter i mg/kg TS. Värden som avser beräknade maximala halter har markerats med fetstil i tabellen.

Parameter	Tillkommande sediment		Bakgrundshalt
	0,5 cm	1 cm	
Arsenik	3,2	4,3	2,2
Barium	31	44	18
Bly	24	37	11
Kadmium	0,47	0,55	0,40
Kobolt	2,4	2,9	1,9
Koppar	20	26	14
Krom	8,6	10	7,1
Kvicksilver	0,17	0,26	0,076
Molybden	2,7	4,9	0,50
Nickel	6,5	7,9	5,1
Vanadin	9,5	12	7,5
Zink	54	60	48
PAH L	0,17	0,24	0,089
PAH M*	0,72	1,0	0,39
PAH H*	0,92	1,5	0,36
PCB-7*	0,013	0,020	0,0059
Tributyltenn (TBT)	0,0044	0,0076	0,0013

*Beräkning baseras på att medelhalten i tillförda massor motsvarar haltkriteriet.

Sammanställningen visar att de högsta beräknade halterna i sediment huvudsakligen faller inom samma klass som bakgrundshalterna för respektive parameter. För koppar och kvicksilver är de beräknade halterna i en högre klass både vid 0,5 och 1 cm tillkommande sediment och för bly och kadmium är de beräknade halterna i en högre klass vid 1 cm tillkommande sediment. För dessa gäller dock att samtliga halter faller inom klass 3 eller lägre.

Sammanställningen visar vidare att för PAH-M, PAH-H och PCB är de beräknade halterna inom klass 4. Dessa bedöms dock överskatta halterna då de är beräknade utifrån att medelhalterna i vallen motsvarar haltkriteriet. För PAH-M faller även bakgrundshalten inom klass 4, det vill säga även utan tillskott från den planerade utfyllnaden är den beräknade halten i klass 4.

De utförda beräkningarna är förknippade med osäkerheter, både avseende halter i utfyllnadsmassorna och avseende mängden spill från anläggandet av vallen och i förlängningen mängden som sedimenterar. Spillet vid anläggandet av vallen har bedömts uppgå till mellan 5 610 och 60 720 ton. Spridningsberäkningarna har utförts på den största mängden vilket innebär att beräkningarna sannolikt är konservativa.

Sammantaget visar beräkningarna att i de fall tillskottet av sediment innebär att beräknade förväntade halter faller inom en högre klass än bakgrundshalterna är de beräknade halterna inom klass 2 eller 3. För PCB och PAH-H förekommer ändring till klass 4, men dessa halter är beräknade utifrån haltkriterier och inte förväntade halter i planerad utfyllnad. Med undantag för TBT underskrider samtliga beräknade halter i Tabell 11 Havs- och vattenmyndighetens effektbaserade bedömningsgrunder. Beräkningen av förväntad halt av TBT baseras dock på uppmätta halter i muddermassor, vilket sannolikt inte kommer användas vid anläggandet av vallen. I huvudsak förväntas lermorän från land-baserade källor användas, där halten av TBT generellt kan förväntas vara låg.

De beräknade sedimenthalter som redovisas i Tabell 11 motsvarar på flera sätt ett värsta fall. Intervallet för mängden spill som kan förväntas är stort och beräkningen baseras på den största mängden. Data avseende halter i mottagna massor till befintlig utfyllnad har hämtats för tre olika källor och beräkningen baseras på de högsta halterna i dessa massor, samt i några fall på haltkriterierna. Två av de tre källorna avser saneringsprojekt där föroreningshalterna kan förväntas vara högre än halterna generellt är i massor från andra typer av anläggningsprojekt. De haltkriterier som tillämpades vid mottagande av massor till Norra hamnen var för flera vanligt förekommande föroreningar högre än nu framtagna haltkriterier för vallen. Sammantaget bedöms detta innebära en acceptabel påverkan på sedimenten.

8 Slutsatser

Haltkriterier har tagits fram för att säkerställa att tillkommande massor inte är skadliga för miljön på platsen, inte bidrar till oacceptabel spridning av föroreningar till ytvattenrecipienten och inte är skadliga för människors hälsa. Vidare har en bedömning gjorts avseende påverkan på sediment.

Då det inte är känt vilka massor som kommer användas för utfyllnaden har ett antal antaganden avseende massornas kvalitet behövt göras. Utgångspunkten har varit att massorna till stor del kommer utgöras av lermorän samt att de kan komma att hämtas från olika exploateringsprojekt.

Eftersom massor inte får användas om halterna av någon parameter överskrider haltkriterierna kommer de faktiska halterna i de massor som används för utfyllnaden att

understiga de framtagna haltkriterierna. Därför har bedömningen av påverkan på sediment huvudsakligen utgått från halter i massor som använts i tidigare utfyllnader i Norra hamnen. Massorna kommer från en typ av projekt som skulle kunna leverera massor till den planerade utfyllnaden. Dock representerar de massor med halter i den övre delen av intervallet som kan tas emot inom uppsatta haltkriterier. Avseende PAH överskrider halterna i tidigare använda massor nu framtagna haltkriterier för vallen. Halterna av PAH i de massor som ska användas i vallen kommer därför vara lägre.

Sammantaget bedöms nyttjande av massor motsvarande de haltkriterier som redovisas i Tabell 7 för den planerade utfyllnaden inte leda till oacceptabel påverkan på människors hälsa, markmiljön inom området, ytvattenrecipienten eller sediment kring utfyllnaden. Generellt förväntas massor med lägre föroreningsnivå än motsvarande haltkriterierna användas vid utfyllnaden, då lermorän från anläggnings- och infrastrukturprojekt erfarenhetsmässigt innehåller låga föroreningshalter.

Ena målet var att ta fram haltkriterier som är enkla att tillämpa i entreprenadskedet. Det bedöms vara uppfyllt trots att de skiljer sig från Naturvårdsverkets generella riktvärden, vilket är en följd av att platsens förutsättningar varit styrande vid framtagandet av haltkriterierna.

Det andra målet var att möjliggöra ett effektivt nyttjande av resurser i samhället. Även det bedöms vara uppfyllt, bland annat genom att haltkriterier för vanligt förekommande föroreningar tagits fram i den typ av massor som förväntas vara aktuella för utfyllnaden. Dessutom har olika haltkriterier tagits fram för vallen respektive övrig utfyllnad vilket bidrar till att säkerställa resurseffektivitet utan att skada miljön.

9 Referenser

Havs- och Vattenmyndigheten, 2018:

Metaller och miljögifter – Effektbaserade bedömningsgrunder och indikativa värden för sediment. Kunskapssammanställning baserad på ämnesrapporter framtagna inom vattendirektivsarbetet. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2018:31.

Josefsson, 2017:

Klassning av halter av organiska föroreningar i sediment. SGU Rapport 2017:12. Sveriges geologiska undersökning. Uppsala, november 2017.

Malmö stad, 2016a:

Medelhalter, Cementen NCC. E-post från Torbjörn Håkansson, 2016-01-19, Fastighetskontoret Malmö stad.

Malmö stad, 2016b:

Medelhalter, muddermassor Industrihamnsrännan. E-post från Torbjörn Håkansson, 2016-01-21, Fastighetskontoret Malmö stad.

Malmö stad, 2016c:

Medelhalter, KKH, Ramböll. E-post från Torbjörn Håkansson, 2016-01-25, Fastighetskontoret Malmö stad.

Naturvårdsverket, 1996:

Generella riktvärden för förorenad mark. Beräkningsprinciper och vägledning för tillämpning. Efterbehandling och sanering. Rapport 4638. Naturvårdsverket Stockholm.

Naturvårdsverket, 1999a:

Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Kust och hav. Rapport 4914, 1999. Naturvårdsverket Stockholm.

Naturvårdsverket, 1999b:

Metodik för inventering av förorenade områden, Rapport 4918, 1999. Naturvårdsverket Stockholm.

Naturvårdsverket, 2010:

Återvinning av avfall i anläggningsarbeten. Handbok 2010:1. Naturvårdsverket, Stockholm.

Naturvårdsverket, 2009:

Riktvärden för förorenad mark: Modellbeskrivning och vägledning. Rapport 5976, 2009. Naturvårdsverket, Stockholm.

Naturvårdsverket, 2016a:

Uppdaterade riktvärden för förorenad mark: <http://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/fororenade-omraden/berakning-riktvarden/generella-riktvarden-20160707.pdf> (hämtad 2017-06-22).

Naturvårdsverket 2016b:

Beräkningsprogram som Excel. Version 2.0.1. Tillgänglig via:

<http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Fororenade-omraden/Riktvarden-for-fororenad-mark/Berakningsverktyg-och-nya-riktvarden/>

VBB VIAK, 1999:

Fastigheten Bilen 4 m.fl., Miljöstatus, åtgärdsbehov och åtgärdsförslag, 1999-04-29. VBB VIAK AB, uppdragsnummer 1278006.

VBB VIAK 2000.

Malmö grundvatten, VBB VIAK, Malmö, 2000-05-12. Uppdragsnummer 1240160.

VISS, 2019:

Vatteninformationssystem Sverige, Vattenförekomst Malmö Hamnområde, SE553757-130820, hämtad 2019-06-13.

<http://www.viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterEUID=SE553757-130820>

Sweco, 2015:

Malmö Oljehamn, Sammanställning avseende föroreningsituationen i Malmö Oljehamn, 2015-05-13. Sweco Environment AB, Förorenade områden och Kemikalier, uppdragsnummer 1311936000.

Sweco, 2018:

PM. Undersökning av grundvattennivåer i Oljehamnen. Uppdragsnummer: 13002029. Daterad: 2018-07-05.

Toxicon, 1993:

Toxicon AB och bioserve. Bottenfauna- och sedimentundersökning i Malmö hamnar och angränsande havsområden. Rapport 50/93.

ÖVF, 2012:

Öresunds vattenvårdsförbund. Undersökningar i Öresund 2011. Miljögifter i sediment. Författare: Fredrik Lundgren, Toxicon AB. Daterad: 2012-01-11.

ÖVF, 2018:

Öresunds vattenvårdsförbund. Undersökningar i Öresund 2017. Miljögifter i sediment. Författare: Fredrik Lundgren, Toxicon AB. Daterad: 2018-03-30.

Uttagsrapport

Generellt scenario: **MKM**

Naturvårdsverket, version 2.0.1

Eget scenario: **Norra Hamnen**

Beskrivning

Standardscenario för mindre känslig markanvändning, enligt Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark.

Beräknade riktvärden

Ämne	Riktvärde		Styrande för riktvärde	Kommentarer (obl = obligatorisk, frv = frivillig)
Antimon	40	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Arsenik	25	mg/kg	Intag av jord	
Barium	300	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Bly	400	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Kadmium	12	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Kobolt	35	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Koppar	200	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Krom tot	150	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Kvicksilver	2,5	mg/kg	Inandning av ånga	
Molybden	150	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Nickel	120	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Vanadin	200	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Zink	500	mg/kg	Skydd av markmiljö	

Avvikelser i scenarioparametrar	Eget scenario	Generellt scenario		Kommentarer till scenarioparametrar (frv)
	Norra Hamnen	MKM		
WARNING! Orealistiska indata !				
Kontrollera röd-markerade värden !				
Halt organiskt kol	0,01	0,02	kg/kg	Andelen TOC har justerats till 1% då lermorän i huvudsak kommer användas (obl)
Riktvärdet avser endast jord under gv- ytan	SANT	FALSKT		Utfyllnaden kommer ske i havet (cirka 10 m) (obl)
Egen utspädningsfaktor - ytvatten	14000	4000	ggr	Utspädningsfaktorn är beräknad i en hydrodynamisk modell baserat på ett flöde på 30 000 m ³ /år (obl)
Skydd av grundvatten	utförs ej	utförs		Konsumtion av grundvattnet inte bedöms bli aktuell i ett kortsiktigt eller långsiktigt perspektiv pga närheten till havet samt att området kommer utgöras av ett industriområde (obl)

Avvikelser i modellparametrar	Eget värde	Standardvärde		Kommentarer till modellparametrar (frv)
Inga avvikelser i modellparametrar.	-	-		

Egendefinierade ämnen

Inga egendefinierade ämnen används.

Uttagsrapport

Generellt scenario: MKM

Naturvårdsverket, version 2.0.1

Eget scenario: Norra Hamnen

Beskrivning

Standardscenario för mindre känslig markanvändning, enligt Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark.

Beräknade riktvärden

Ämne	Riktvärde		Styrande för riktvärde	Kommentarer (obl = obligatorisk, frv = frivillig)
PCB-7	0,25	mg/kg	Intag av jord	
PAH-L	15	mg/kg	Skydd av markmiljö	
PAH-M	10	mg/kg	Inandning av ånga	
PAH-H	10	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Bensen	0,60	mg/kg	Inandning av ånga	
Toluen	50	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Etylbensen	50	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Xylen	50	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Alifat >C5-C8	100	mg/kg	Inandning av ånga	
Alifat >C8-C10	70	mg/kg	Inandning av ånga	
Alifat >C10-C12	500	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Alifat >C12-C16	500	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Alifat >C16-C35	1 000	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Aromat >C8-C10	50	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Aromat >C10-C16	15	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Aromat >C16-C35	40	mg/kg	Skydd av markmiljö	
Tributyltenn (TBT)	0,60	mg/kg	Skydd av ytvatten	

Avvikelser i scenarioparametrar	Eget scenario	Generellt scenario		Kommentarer till scenarioparametrar (frv)
	Norra Hamnen	MKM		
VARNING! Orealistiska indata !				
Kontrollera röd-markerade värden !				
Halt organiskt kol	0,01	0,02	kg/kg	Andelen TOC har justerats till 1% då lermorän i huvudsak kommer användas (obl)
Riktvärdet avser endast jord under gv- ytan	SANT	FALSKT		Utfyllnaden kommer ske i havet (cirka 10 m) (obl)
Egen utspädningsfaktor - ytvatten	14000	4000	ggr	Utspädningsfaktorn är beräknad i en hydrodynamisk modell baserat på ett flöde på 30 000 m ³ /år (obl)
Skydd av grundvatten	utförs ej	utförs		Konsumtion av grundvattnet inte bedöms bli aktuell i ett kortsiktigt eller långsiktigt perspektiv pga närheten till havet samt att området kommer utgöras av ett industriområde (obl)

Avvikelser i modellparametrar	Eget värde	Standardvärde		Kommentarer till modellparametrar (frv)
Inga avvikelser i modellparametrar.	-	-		

Egendefinierade ämnen

Inga egendefinierade ämnen används.

Bilaga B3-2

Uppdrag	Uppdragsnummer	Upprättad av
Norra Hamnen	13007744	Elna Rasmusson

Maximala halter i sediment

Maximala halter i sediment har beräknats baserat på framtagna haltkriterier, som har jämförts med "Bedömningsgrunder för kust och hav" (Naturvårdsverket, 1999b) och "Klassning av halter av organiska föroreningar i sediment" (SGU, 2017). Resultaten har färgmarkerats enligt klassindelningen i Tabell 1. För parametrar som inte färgmarkerats saknas jämförvärden för sediment. Samtliga halter anges i mg/kg

Ämne	Halt med 0,5 cm utfyllnad	Halt med 1 cm utfyllnad
Antimon	11	21
Arsenik	7,9	14
Barium	88	160
Bly	36	61
Kadmium	1	1,7
Kobolt	10	18
Koppar	30	47
Krom	23	40
Kvicksilver	0,31	0,54
Molybden	38	75
Nickel	29	53
Vanadin	56	100
Zink	130	200
Alifater >C5-C8	25	50
Alifater >C8-C10	18	35
Alifater >C10-C12	130	250
Alifater >C12-C16	130	250
Alifater >C16-C35	250	500
Aromater >C8-C10	13	25
Aromater >C10-C16	3,8	7,5
Aromater >C16-C35	10	20
Bensen	0,15	0,3
Toluen	13	25
Etylbensen	13	25
Xylen	13	25
PAH L	3,8	7,5
PAH M	0,72	1,0
PAH H	0,92	1,5
PCB-7	0,013	0,020
Tributyltenn (TBT)	0,015	0,028

Bilaga B3-3

Uppdrag	Uppdragsnummer	Upprättad av	Uppdragsledare	Datum
Norra Hamnen	13007744	Elna Rasmusson	Olof Persson	2019-10-07

Förväntade halter i sediment

Förväntade halter i sediment har beräknats baserat på halter i tidigare använda utfyllnadsmassor, som har jämförts med "Bedömningsgrunder för kust och hav" (Naturvårdsverket, 1999b) och "Klassning av halter av organiska föroreningar i sediment" (SGU, 2017). Resultaten har färgmarkerats enligt klassindelningen i Tabell 1. För parametrar som inte färgmarkerats saknas jämförvärden för sediment. Resultat baserade på halter i utfyllnadsmassor som överskrider haltkriterier för vallen har markerats med fetstil och understyrkning. Samtliga halter anges i mg/kg

Parameter	Malmö Live		Muddermassor		Cementen, NCC	
	Halt med 0,5 cm utfyllnad	Halt med 1 cm utfyllnad	Halt med 0,5 cm utfyllnad	Halt med 1 cm utfyllnad	Halt med 0,5 cm utfyllnad	Halt med 1 cm utfyllnad
Arsenik	2,7	3,3	2,3	2,5	3,2	4,3
Barium	31	44			22	25
Bly	24	37	13	15	15	19
Kadmium	0,35	0,30	0,37	0,35	0,47	0,55
Kobolt	2,4	2,9	2,3	2,7	2,3	2,6
Koppar	20	26	14	15	18	22
Krom	8,6	10	8,2	9,2	8,4	9,7
Kvicksilver	0,17	0,26	0,082	0,088	0,070	0,063
Molybden					2,7	4,9
Nickel	6,5	7,9	6,4	7,7	5,8	6,5
Vanadin	9,5	11	8,1	8,8	9,5	12
Zink	54	60	48	48	51	53
Alifater >C8-C10	0,63	1,3			1,3	2,5
Alifater >C10-C12	0,63	1,3			1,3	2,5
Alifater >C12-C16	1,4	2,7			1,3	2,5
Alifater >C16-C35	13	25			2,5	5,1
Aromater >C8-C10	1,3	2,5			2,5	5,0
Aromater >C10-C16	0,93	1,9			0,75	1,5
Aromater >C16-C35	0,90	1,8			0,35	0,70
PAH L	0,17	0,24			0,17	0,24
PAH M	1,1	1,7	0,37	0,34	0,99	1,6
PAH H	0,97	1,6	0,37	0,38	0,97	1,6
Tributyltenn (TBT)			0,0044	0,0076		

BILAGA B3-4

UPPDRAG Utfyllnad Norra hamnen MMD	UPPDRAGSLEDARE Olof Persson	DATUM 2019-11-13
UPPDRAGSNUMMER 13007744	UPPRÄTTAD AV Matilda Johansson	

Ökat grundvattenflöde till följd av havets nivåvariationer

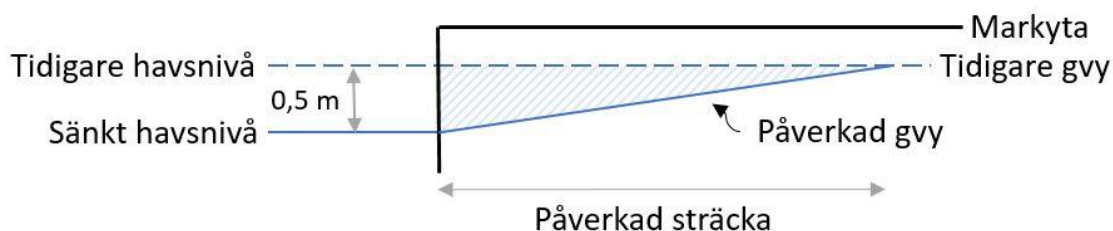
Grundvattengradienten i det planerade utfyllnadsområdet förväntas generellt vara låg och riktad mot Öresund. Såsom beskrivs i huvudrapporten visar undersökningar i Västra hamnen och Oljehamnen som också är utfyllda områden generellt på låga gradienter. Undersökningen i Oljehamnen visade dock på en högre gradient närmast havet.

Grundvattennivån i utfyllnaden kan förväntas variera med havets nivåvariationer. Detta kan innebära att flödet ibland är riktat in mot utfyllnaden och ibland ut från densamma. Sammantaget kan detta medföra att det beräknade grundvattenflödet innebär en underskattning av det totala grundvattenflödet från utfyllnaden till Öresund.

Situationer som kan medföra högre grundvattenflöde än det som beräknas i huvudrapporten är när havsnivån snabbt sänks. En snabb sänkning av nivån medför en kraftig utåtriktad gradient som kvarstår tills havsnivån stiger igen eller tills så mycket vatten strömmat ut att gradienten utjämnats.

I denna bilaga redovisas en ansats för att beräkna det extra flöde som bedöms kunna uppstå vid sådana situationer. Baserat på statistik från mätningar i Barsebäckshamn från 1999-2018 har konstaterats att nivåändringar på 0,5 m eller uppstod vid mellan 2 och 15 tillfällen per år, totalt 159 tillfällen under perioden. Medelvärdet för perioden är 8 tillfällen per år. Vattennivån återgår vanligen till normala nivåer inom ungefär ett dygn. Den största uppmätta nivå-sänkningen under perioden uppgick till ca 1,2 m, vid 12 tillfällen uppmättes sänkningar på 0,9 m eller mer.

I Figur 1 illustreras schematiskt hur gradienten påverkas vid en snabb sänkning av havsnivån. Hur kraftig gradienten blir beror på hur långt in påverkan från nivåförändringen når ("påverkad sträcka" i figuren). Hur lång den påverkade sträckan blir är inte känt. Vid en kort påverkad sträcka blir gradienten kraftig och vid en längre påverkad sträcka blir gradienten mindre. Det vatten som före havets nivåförändring fanns under grundvattenytan men som efter sänkningen finns ovanför den nya grundvattenytan måste rinna ut i Öresund.



Figur 1. Schematisk illustration av sänkning av grundvattenytan (gvy) i samband med snabb sänkning av havsnivån.

Hur lång den påverkade sträckan är påverkar gradienten och den mängd vatten som behöver transporteras ut p.g.a. att vattenytan sänks. Gradienten kan också användas för att beräkna flödet med hjälp av Darcys lag. Eftersom vattennivån normalt återställs inom ca ett dygn behöver flödet vara så stort att den mängd vatten som finns ovanför grundvattenytan kan rinna ut i Öresund på ett dygn.

Den utförda beräkningen är en mycket enkel beräkning. För beräkningen antas att gradienten i utfyllnaden vid tillfället för havsnivåsänkningen är 0. Syftet med beräkningen är att skatta den ytterligare gradient som nivåsänkningen innebär och denna förenkling bedöms inte ha någon betydande påverkan på beräkningsresultaten.

Beräkningen har gjorts iterativt i följande steg:

1. Ansatt ett värde för den påverkade sträckan
2. Beräkna mängd vatten mellan den tidigare och den sänkta grundvattenytan
3. Beräkna vilket flöde som krävs för den beräknade vattenmängden ska kunna lämna utfyllnaden inom ett dygn
4. Använd Darcys lag för att beräkna vilken gradient som krävs för att ett sådant flöde ska kunna uppstå
5. Beräkna den påverkade sträckan utifrån gradienten
6. Välj en ny påverkad sträcka mellan den ansatta och den beräknade sträckan.

Punkterna 1-6 upprepas tills den beräknade påverkade sträckan i punkt 5 motsvarar den ansatta sträckan i punkt 1. Volymen beräknas utifrån arean av det skrafferade området i Figur 1 och utfyllnadens längd mot havet samt porositeten. Den gradient som behövs beräknas med Darcys lag utifrån hydraulisk konduktivitet, akviferens bredd (d.v.s. utfyllnadens längd mot havet) och akviferens mäktighet. Alla indata till beräkningen redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Indata och antaganden för beräkning av ökat grundvattenflöde till följd av snabba havsnivå-sänkningar.

Parameter	Värde	Beteckning	Kommentar
Utfyllnadens längd mot havet (m)	1 800	l	
Porositet (-)	0,4	ε	Standardvärde för normaltäta massor, se huvudrapporten.
Hydraulisk konduktivitet (m/s)	10^{-6}	K	Antagen konduktivitet i massor som förväntas användas, se huvudrapporten.
Amplitud havsnivåsänkning (m)	0,5	h	Baserat på statistik från Barsebäckshamn, se ovan
Sänkningens varaktighet (h)	24	t	Baserat på statistik från Barsebäckshamn, se ovan
Akiferens mäktighet (m)	10	d_{aq}	Baserat på vattendjup i området för planerad utfyllnad, se huvudrapporten.

Den volym som beräknas i punkt 2 ovan beräknas enligt:

$$V_{\text{nivåsänkning}} = \frac{h \cdot x}{2} \cdot l \cdot \varepsilon$$

där x motsvarar den påverkade sträckan (m). Övriga beteckningar anges i Tabell 1. Flödet enligt punkt 3 ges genom att dividera volymen med tiden. Den gradient som beräknas i steg 4 ges av:

$$i = \frac{Q}{K \cdot l \cdot d_{aq}}$$

där Q är flödet (m³/s). Övriga beteckningar anges i Tabell 1. Beräkningen av påverkanssträcka i punkt 5 ovan görs enligt:

$$x = \frac{h}{i}$$

Beräkningen har alltså utförts iterativt så att resultaten används för att göra om beräkningen igen. Resultaten från de genomförda beräkningarna redovisas i Tabell 2. Av tabellen framgår att den beräknade påverkanssträckan uppgår till 2,1 m.

Tabell 2. Beräkningsresultat från samtliga iterationer vid en havsnivåsänkning på 0,5 m.

Beräkningssteg	Enhet	Iterationer			
		i	ii	iii	iv
1 Ansatt påverkad sträcka	m	10	5	2	2,1
2 Beräknad volym	m ³	1 800	900	360	380
3 Beräknat flöde	m ³ /s	0,021	0,010	0,0042	0,0044
4 Beräknad gradient	-	1,2	0,58	0,23	0,24
5 Beräknad sträcka	m	0,43	0,86	2,2	2,1

Det beräknade grundvattenflödet vid en sänkningshändelse motsvarar den volym som beräknas i beräkningssteg 2, d.v.s. 380 m³. Enligt statistiken som redovisas ovan har sådana nivå-sänkningar skett vid i genomsnitt 8 tillfällen per år och som mest vid 15 tillfällen under ett år. Detta motsvarar ett grundvattenflöde på mellan 3 000 och 5 700 m³/år.

En kontrollberäkning har också gjorts för att beräkna flödet vid en havsnivåsänkning på 1 m. Beräkningen har gjorts på samma sätt som för en sänkning på 0,5 m. Beräkningsresultaten redovisas i Tabell 3. Av tabellen framgår att den beräknade påverkansträckan vid en sänkning på 1 m uppgår till mellan 1,4 och 1,5 m.

Tabell 3. Beräkningsresultat från samtliga iterationer vid en havsnivåsänkning på 1 m.

Beräkningssteg	Enhet	Iterationer		
		i	ii	iii
1 Ansatt påverkad sträcka	m	2,1	1,5	1,4
2 Beräknad volym	m ³	760	540	500
3 Beräknat flöde	m ³ /s	0,0088	0,0063	0,0058
4 Beräknad gradient	-	0,49	0,35	0,32
5 Beräknad sträcka	m	1,0	1,4	1,5

Det beräknade flödet vid en snabb havssnivåsänkning på 1 m uppgår till mellan 500 och 540 m³ per tillfälle, motsvarande upp till ca 40 % större flöde än vid en sänkning på 0,5 m. Som framgår av den ovan redovisade statistiken är snabba sänkningar motsvarande 0,9 m eller mer ovanliga. Om två av de årliga nivå-sänkningarna uppgår till denna storleksordning motsvarar det ett årligt grundvattenflöde på 3 300 till 6 000 m³/år.

Sammantaget bedöms det tillkommande flödet från snabba nivåvariationer kunna uppgå till mellan ca 3 000 och 6 000 m³/år.