RAMBØLL

Åtgärdsutredning

Vattenfall AB

Avveckling bergrum Marviken

Stockholm 2018-03-16

Avveckling bergrum Marviken

Åtgärdsutredning

Datum	2018-03-16
Uppdragsnummer	1320008242
Utgåva/Status	

Uppdragsledare	Handläggare	Granskare

Ramböll Sverige AB
Box 17009, Krukmakargatan 21
104 62 Stockholm

Telefon 010-615 60 00
Fax 010-615 20 00
www.ramboll.se

Unr 1320008242 Organisationsnummer 556133-0506

Sammanfattning

Vid Marviken har det funnits en oljebaserad kraftstation. Den olja som användes förvarades i det bergrum som hör till Marvikens kraftstation. Oljebergrummet färdigställdes år 1974. Och den första inlastningen skedde 14 mars 1974. Efter år 2004 har inte mer än 10 000 m^3 lagrats som mest vid samma tillfälle.

År 2009 beslutade Vattenfall att Marvikens kraftverk skulle läggas ned. I och med nedläggningen skulle även bergrummet som använts för lagring av olja avslutas. Anläggningen är idag sanerad.

På uppdrag av Vattenfall har Ramböll Sverige AB tagit fram en åtgärdsutredning för oljebergrumet med syfte att kunna ge svar på vilken teknisk lösning som passar för avvecklingen. I utredningen har tre olika tekniska lösningar studerats varav den ena även har utretts som en platsspecifik variant.

De tre tekniska lösningarna som utretts har varit:

- Naturlig återrinning
- Hydraulisk avledning
    - Platsspecifik hydraulisk avledning
- Fortsatt pumpning

För att kunna utvärdera vilken av ovan nämnda tekniska lösningar som lämpar sig bäst för Marviken har en utvärdering/riskvärdering utförts där de olika åtgärdsalternativen har utvärderats utifrån följande aspekter:

- Risker
- Omgivningspåverkan
- Spridning
- Prövningsplikt
- Efterkontroll
- Kostnad
- Riskbedömning under driftfas och efter

I riskbedömningen har hänsyn tagits till miljö, hälsa, landskap, allmänna/enskilda intressen och känslomässiga aspekter

Utifrån utförd riskvärdering förordas alternativet "platsspecifik hydraulisk avledning". Platsspecifik hydraulisk avledning bedöms vara den metod som bäst uppfyller de krav Vattenfall har på avslutningsmetod. Metoden bedöms även vara den metod på vilken bergrummet kan avslutas på det mest kontrollerade tillvägagångssättet genom att det under hela avslutningsprocessen går att utföra mätningar och kontroller på föroreningsförekomst och grundvattennivåer.

o:\sto3\sgm\2014\1320008242\g_teknik\n\dokumentbeskrivningar\åtgärdsutredning\åtgärdsutredning avslutning bergrum 180316.docx

RAMBØLL

Innehållsförteckning

1. Inledning 1
1.1 Uppdrag och syfte 2
1.1.1 Terminologi 2
2. Områdesbeskrivning 4
2.1 Geologi 4
2.2 Hydrologi 5
2.3 Bråviken/Marviken 5
3. Beskrivning av anläggningen 7
3.1 Byggnader och anläggningar 7
3.1.1 Läckvatten 8
3.2 Oljebergrummet 9
3.2.1 Historik 9
3.2.2 Inlagringsprincip 9
3.2.3 Lagrad produkt 10
3.2.4 Pågående verksamhet 11
3.2.5 Befintliga kärnborrhål och observationsbrunnar 11
4. Föroreningssituationen 11
4.1 Berg 11
Anläggningen 11
4.2 Jord 12
4.3 Recipient 12
5. Mätningar och utredningar 13
5.1 Geologi 13
5.2 Hydrogeologi 13
6. Beskrivning av åtgärdsalternativ 14
6.1 Naturlig återrinning 15
6.2 Hydraulisk avledning 16
6.2.1 Platsspecifik hydraulisk avledning 18
6.3 Fortsatt pumpning 20
7. Riskbedömning och utvärdering av åtgärdsalternativ 20
7.1 Riskbedömning 20
7.2 Utvärdering/riskvärdering 22
8. Förordat alternativ 22

o:\stod\bggmn\2014\1320008242\3_teknik\n\dokument\beskrivningar\åtgärdsutredning\åtgärdsutredning avslutning bergrum 180316.docx

Bilagor

1. Sammanställning av läck- och bergrumsvattenanalyser
2. PM Geologi
3. PM Hydrogeologi
4. Riskvärdering

o:\sto3\sgm\20141\132000824213_tek\©ç\dokument\©ç\ek©ç\rhsingarn\Åtgärdsutredning\Åtgärdsutredning avslutning bergrum 160316.docx

Avveckling bergrum Marviken (PM/Rapport)

1. Inledning

Marvikens kraftstation konstruerades ursprungligen som ett kärnkraftverk men projektet lades ner 1970 innan reaktorn hunnit startas. Reaktortanken finns kvar på plats och användes under 1980- och 1990-talet för olika experiment.

När inte kärnkraftverket togs i drift byggdes istället den färdiga anläggningen om under början av 1970-talet till en konventionell fossileldad ångkraftanläggning med en oljepanna. Kraftverket har sedan dess ingått i den svenska effektreserven. Dess effekt är ca 200 MW. År 2009 beslutade Vattenfall att Marvikens kraftverk skulle läggas ned. El producerades fram till och med 2009.

Den olja som användes förvarades i det bergrum som hör till Marvikens kraftstation. Bergrummet är beläget vid kajen och produkten har pumpats in till bergrummet direkt från fartyg via en pipe-line ovan jord, se figur 1. Utförligare beskrivning av bergrummet ges under 3.2 byggnader och anläggningar.



Figur 1. Pipeline till pumphus (grön byggnad). Fotot taget från kajen.

1.1 Uppdrag och syfte

På uppdrag av Vattenfall har Ramböll Sverige AB tagit fram en åtgärdsutredning för det oljebergrum som finns på anläggningen vid Marviken. I uppdraget har även ingått att ta fram en riskvärdering för de åtgärdslösningar som utretts och utifrån detta förorda det bäst lämpade alternativet.

Syftet med åtgärdsutredningen är att kunna ge svar på vilken teknisk lösning som passar för avvecklingen med avseende på ett flertal aspekter men framförallt föroreningsspridning.

Följande tre tekniska lösningar har studerats

- Naturlig återrinning
- Hydraulisk avledning
- Fortsatt pumpning

1.1.1 Terminologi

En terminologi har utvecklats inom området "avveckling av bergrum", några termer redovisas nedan i tabell 1. De beskrivna termerna kommer nyttjas i rapporten. För en mer omfattande beskrivning av använda termer och metoder för avveckling av bergrumslager, se "Reviderad konceptuell modell för spridning av petroleumrester runt bergrumsanläggningar" (Elert *et al.*, 1999).

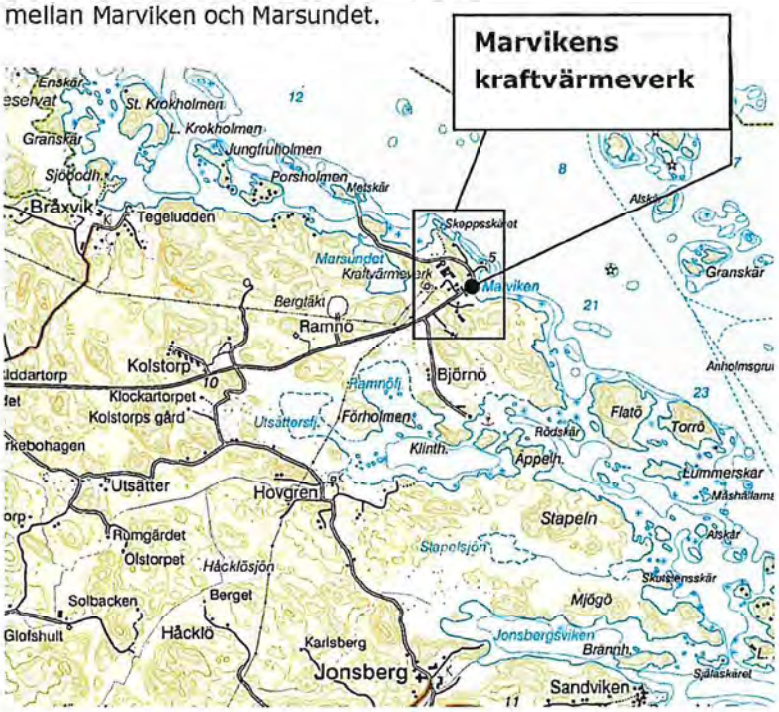
Tabell 1: Vanligt förekommande termer i utredningar avseende bergrumsanläggningar för lagring av olja.

TERMINOLOGI	
Term	**Förklaring**
Driftfas	Produkt lagras i bergrummet och läckvattenpumpning sker av inläckande grundvatten.
Basåtgärder	Anläggningen töms på produkt som omhändertas. Därefter hålls grundvattennivån fortsatt avsänkt i bergrummen under ett antal år för att behålla ett mot bergrummen inåtriktat grundvattenflöde. Denna period kallas självblödning. Produktrester rinner in till bergrummet, i fri och löst fas. Syftet med självblödningen är att avlägsna så mycket produktrester som möjligt från anläggningen. Efter självblödningen skummas vattenbädden och kvarvarande produktrester samlas upp.
Läckvatten	Avser det inströmmande grundvatten som läcker in i bergrummet i samband med att lagret är i drift alternativt tömt på produkt.
Produktrest	Kvarvarande rester av produkt som kan finnas i grundvattnet, berget och i recipienten.
Skumning	Bortpumpning av produktrester som ansamlats i bergrummen (efter driftfasen).
Självblödning	Anläggningen töms på produkt som omhändertas. Därefter hålls grundvattennivån fortsatt avsänkt i bergrummen under ett antal år för att behålla ett mot bergrummen inåtriktat grundvattenflöde. Denna period kallas självblödning. Produktrester rinner in till bergrummet, i fri och löst fas. Syftet med självblödningen är att avlägsna så mycket produktrester som möjligt från anläggningen. Efter självblödningen skummas vattenbädden och kvarvarande produktrester samlas upp.
Vattenbädd, fast och rörlig	Det läckvatten i botten på bergrummet varpå produkten vilar. Fast vattenbädd innebär att vattenbäddens nivå hålls konstant oavsett mängd lagrad produkt. Lagring på rörlig vattenbädd innebär att bergrummen alltid är fyllda med vätska (vatten eller produkt). Då rummen fylls med produkt pumpas vatten ut i motsvarande volym och vice versa.

2. Områdesbeskrivning

Marvikens kraftstation ligger på Vikbolandet, ca 40 km öster om Norrköping i Östergötland se figur 2. Kraftverket ligger i anslutning till Bråviken och är omgivet av skogs- och jordbruksmark. Avstånd till närmaste bostadsbebyggelse uppgår till ca 1,5 km, lantbruksbyggnader är belägna ca 1 km från anläggningen. Tidigare tjänstebostäder som är belägna ca 3 km från kraftverket är idag sålda till privatpersoner.

Området utgörs huvudsakligen av skog och berg och är belägen på en udde mellan Marviken och Marsundet.

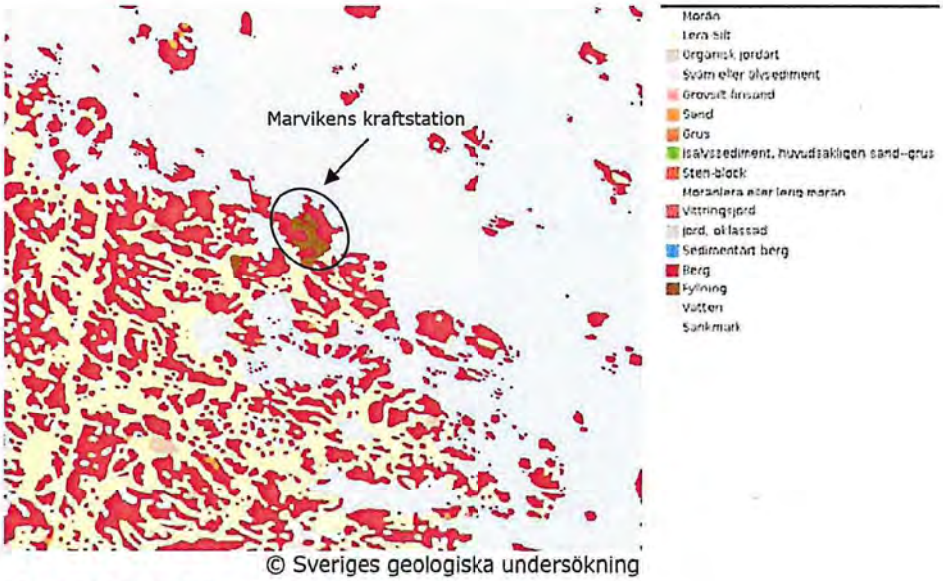


Figur 2: Anläggning, Marviken, Norrköpings kommun.

2.1 Geologi

Området utgörs av bergklackar med lerjordspartier emellan. Några mindre våtmarkspartier förekommer runt om anläggningen. Inom kraftverksområdet är delar av marken utfylld. Nedan, i figur 3, redovisas SGUs jord- och bergartskarta för området.

Enligt uppgifter från SGU består marken där anläggningen står av ytligt berg och fyllning ovanpå lera och silt. Berggrunden i området består av omvandlade vulkaniska bergarter och domineras av sprickor som ger upphov till rektangulära block.



***Figur 3**. Jord- och bergartskarta*

2.2 Hydrologi

På grund av områdets kuperade markprofil och mycket berg i dagen finns ingen enskild strömningsriktning för grundvattnet. Yt- och grundvatten rinner mot havet, men riktningen lokalt beror på den lokala toppografin. Området dräneras delvis av kraftvärmeverkets dräneringssystem samt av bergrummet. Några större grundvattenmagasin och grundvattenflöden i jord bedöms inte finnas i området på grund av små jorddjup.

2.3 Bråviken/Marviken

Marviken ligger vid Bosöfjärden som är den yttre delen av Bråviken. Högsta högvattenstånd i området är uppmätt till nivå +0,7 och lägsta lågvattenstånd är uppmätt till nivå -1,0[1]. Bråviken är en över 50 km lång vik som sträcker sig från Arkösund vid kusten i öster till Norrköping i väster. Bråviken avslutas i väster i Bosöfjärden i vilken Marviken utgör en mindre vik. Delar av Bråviken utgörs av naturreservat där bland annat Bråviken yttre och Ramnö- och Utsättersfjärden utgörs av Natura 2000 område enligt SCI Habitatdirektivet, vilket är ett direktiv om bevarande av livsmiljöer samt vilda djur och växter och omfattar både djur och växter.

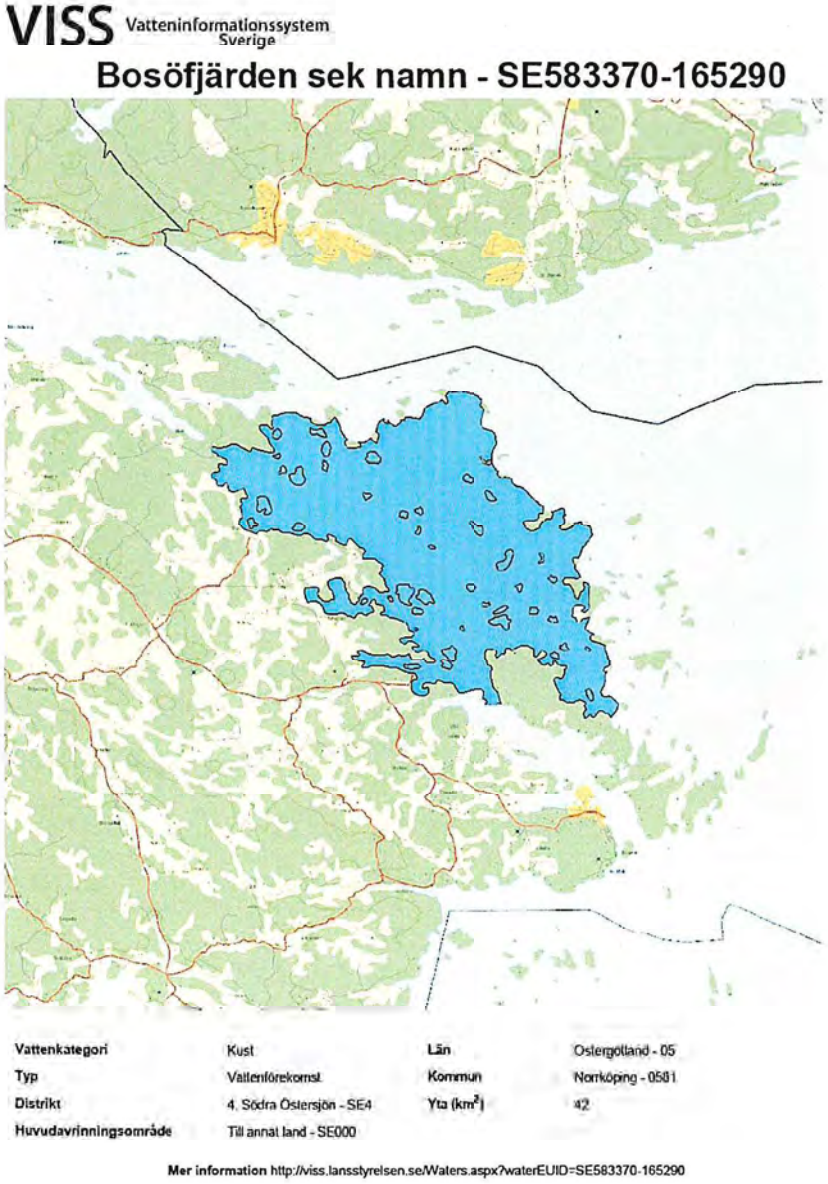
Bråvikens marina naturreservat är Östergötlands största och täcker en stor del av Arkösunds skärgård.

Den ekologiska statusen i Bosöfjärden har klassificerats till måttlig, otillfredsställande eller dålig och Vattenmyndigheten har bedömt att det finns skäl att fastställa miljökvalitetsnormen till god ekologisk status med tidsfrist till 2021.

---

[1] Uppgift från SMHI:s mätstation vid Marviken. Nivåerna för högsta respektive lägsta vattennivå gäller för en mätperiod om 50 år. Nivåerna är omräknade till Rikets höjdsystem RH00 från RH70.

Den ekologiska statusen är främst påverkad av övergödningen. Den kemiska statusen är ej klassad för Bosöfjärden. Ett utdrag ur VISS redovisas i figur 4 nedan.



***Figur 4**. Utdrag ur VISS över Bosöfjärden.*

3. Beskrivning av anläggningen

Vid Marviken har det funnits en oljebaserad kraftstation. Kraftstationen består av bland annat följande anläggningar: maskinstation, pannhus, administrativ byggnad, kylvattenintag, kylvattenutsläpp, hamn med pir, oljebergrum, servicebyggnad för oljelager, reningsverk, råvattenbassäng och en vattenreservoir.

Markytan inom området varierar mellan nivå 0 till +9.

3.1 Byggnader och anläggningar

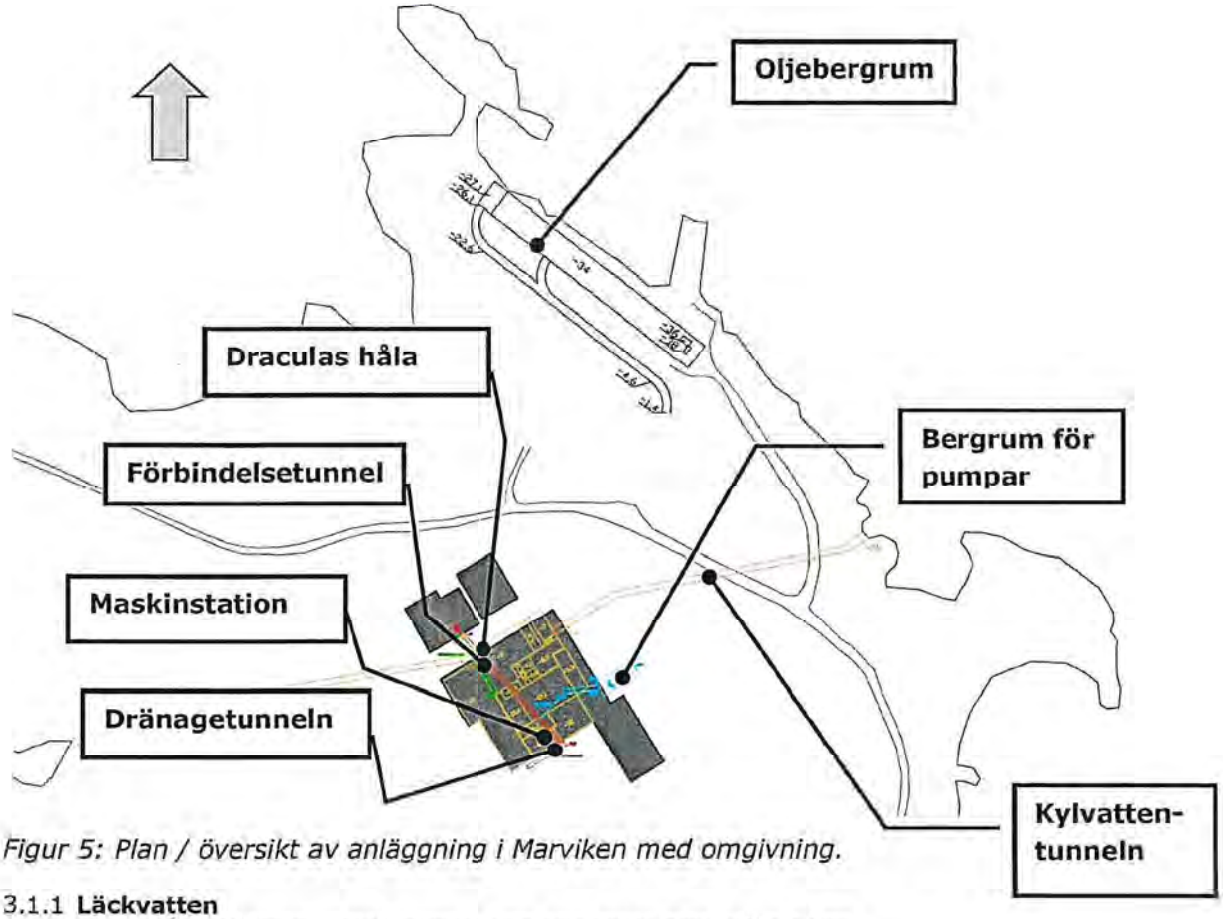
Marvikens kraftstation består av flera bergförlagda anläggningar på olika nivåer;

- Reaktorbyggnaden som är nedsprängd i berg nivå -19,1
- Bergrum för pumpar nivå -27,1 till -38
- Kylvattentunnel nivå -4,5 till -7,5
- Förbindelsetunnel nivå -12 till -12,8
- Maskinstation nivå +2 till -19,1
- Dränagetunnel nivå -25,2 till -28
- Draculas håla nivå -28
- Oljebergrum nivå -34 till -38

Förbindelsetunneln samt grunden till maskinstationen är betongsprutad. Övriga delar av anläggningen har inte undergått tätningsåtgärder.

Kylvattentunneln leder vatten från havet till maskinstationen och sen vidare ut till Marsundet tillsammans med läckvatten från anläggningen

Geometrin och relevanta anläggningsdelar framgår av figur 5.



Figur 5: Plan / översikt av anläggning i Marviken med omgivning.

3.1.1 Läckvatten

Läckvattnet från oljebergrummet pumpas upp och renas med hjälp av en dekanteringstank och kolfilter vilka är placerade i servicebyggnaden på marknivå ovan bergrummet. Vattnet avbördas till havet efter att det passerat filtret. Avbördning av läckvatten från de övriga bergförlagda anläggningarna sker från Draculas håla via kylvattentunneln till Marsundet, väster om anläggningen. Läckvatten från bergrummet för pumpar leds bort till Draculas håla via dränagetunneln.

Mätning av läckvattenflöden till oljebergrummet och till Draculas håla har genomförts kontinuerligt. Till oljebergrummet sker ett genomsnittligt inläckage på 22 m^3/dygn (beräknat på mätningar från 2003-2013), till bergrummet för pumpar sker ett inläckage på 6 m^3/dygn och till Draculas håla sker ett genomsnittligt inläckage på ca 110 m^3/dygn (inläckage till bergrummet för pumpar och till Draculas håla är beräknat på mätningar utförda under oktober 2014).

Tabell 2 visar läckvattenflöden in till respektive bergrum och pumpschakt.

Tabell Fel! Ingen text med angivet format i dokumentet.**2:**
Läckvattenflödet in till respektive bergrum.

Anläggningsdel		Oljebergrum	Bergrum för pumpar	Pumpschakt (Draculas håla)
Läckvattenflöde	m^3/dygn	22	6	110
	mm/dygn	8,2	22	21,8

Läckvattenflödet redovisas som m^3/dygn samt mm/dygn. För att få ut ett flöde i mm har flödet i kubik meter delats med arean för respektive anläggningsdel. Arean för oljebergrummet uppgår 2607 m^2, bergrummet för pumpar har en beräknad area på 273 m^2 och arean för pumpschakten har antagits till 5044 m^2.

Läckvattnet ut från anläggningen har tidvis analyserats för produktrester och salthalt. Läckvattenproverna har tagits före och efter kolfiltret vid oljebergrummet samt i pumpschakten 'Draculas håla'. En sammanställning av läck- och bergrumsvattenanalyser återfinns i bilaga 1.

3.2 Oljebergrummet

Anläggningens totala lagringskapacitet är ca 53474 m^3. Relevanta nivåer i och kring anläggningen framgår av tabell 3.

Tabell **3***: Uppgifter om oljebergrummet*

Orientering		NV-SO
Längd	m	158
Bredd	m	16,5
Höjd	m	21
Area, total	m^2	2607
Volym, total	m^3	54747
Volym, inlastad	m^3	53474
Taknivå		-13
Bergrumsbotten		-34
Botten, pumpgrop		-38
Lägsta skiljeyta (sargkant)		-33,5

3.2.1 Historik

Oljebergrummet färdigställdes år 1974. Och den första inlastningen skedde 14 mars 1974. Mellan åren 1974 till 1992 var oljebergrummet normalt toppfyllt med produkt. Från tiden då WRD började lagras förvarades inte mer produkt i bergrummet än vad som behövdes för att kunna köra anläggningen under en kortare tid. Efter år 2004 har inte mer än 10 000 m^3 lagrats som mest vid samma tillfälle.

3.2.2 Inlagringsprincip

I bergrummet har lagring av oljeprodukter skett. Lagringen i anläggningen har skett på s k fast vattenbädd. Lagring av petroleumprodukter sker under den naturliga grundvattennivån. Genom pumpning och avsänkning av den naturliga

grundvattenytan skapas ett lägre grundvattentryck i bergrummet än i bergmassan. Tryckskillnaden medför att grundvattnet rinner mot bergrummet och därmed förhindras spridning av lagrad produkt ut i berget. I botten av bergrummet bildar det inläckande grundvattnet en s k vattenbädd varpå den lagrade produkten vilar. Det överskottsvatten som rinner in i bergrummet pumpas kontinuerligt bort via en oljeavskiljare. Detta vatten benämns läckvatten. För anläggningen i Marviken har läckvattnet avletts via reningsanläggning direkt till havet som i detta läge utgörs av Bosöfjärden.

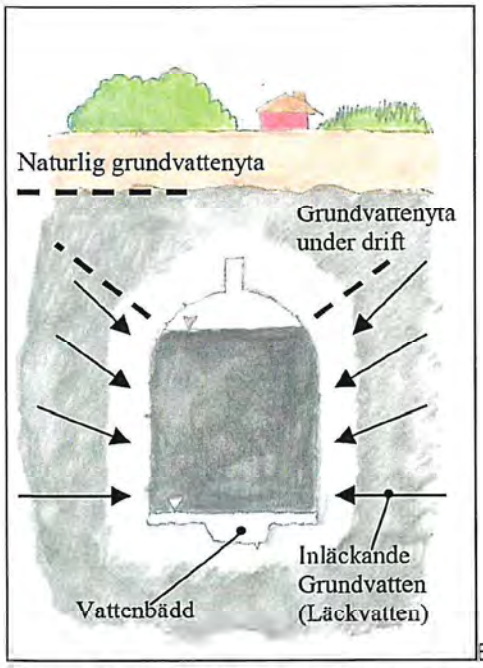


Bild från SGU

Figur 6:Principskiss över inlagringsprincip i bergrummet.

3.2.3 **Lagrad produkt**

I oljebergrummet har Eo5 och Eo5-LS lagrats mellan åren 1974 till 1992. Efter den miljöupprustning som utfördes i början av 1990-talet lagrades lättolja, WRD, fram till 2011.

3.2.3.1 Produktbeskrivning

Eo5 och Eo5-LS – Är en tyngre eldningsolja avsedd för uppvärmningsändamål. En tyngre eldningsolja innehåller högre halter av föroreningar som svavel, kväve och metaller än en lättare. Tunga oljor har hög viskositet och hög stelningstemperatur. Densiteten för Eo5 och ligger mellan 940-950 kg/m^3.

WRD – Är en ren eldningsolja av typen lättolja avsedd för uppvärmningsändamål. Rekommenderad hanteringstemperatur är +35°C och lägsta flytpunkt ligger på ca

-3°C, densiteten ligger mellan 850-910 kg/m^3 och viskositeten ligger närmare 20 cSt. En lättolja kännetecknas av att viskositeten och densiteten är förhållandevis låg.

3.2.4 Pågående verksamhet

Ingen verksamhet pågår i bergrummet idag, bergrummet är sanerat.

År 2010 anmäldes till länsstyrelsen i Östergötland att oljebergrummet skulle tömmas på olja. Beslut med diarienummer 555-588-10 erhölls i mars 2010. År 2011 påbörjades avetableringen av kraftverket och oljebergrummet togs ur drift. I november 2014 inlämnades en anmälan till Länsstyrelsen i Östergötland om sanering av bergrummet. September 2016 hölls ett möte mellan Vattenfall och Länsstyrelsen där resultat från utförd sanering redovisades. Den utförda saneringen resulterade i att endast en mindre mängd restprodukt (uppskattad till ca 5 m^3 olja) finns kvar i bergrummet.

Avveckling av bergrummet kommer att utföras efter beslut utifrån föreliggande åtgärdsutredning.

3.2.5 Befintliga kärnborrhål och observationsbrunnar

Ett fåtal borrhål och brunnar från 1960-talet finns nära oljebergrummet. Borrhål utförda före 1960 har ej kunnat lokaliseras. Inga av de tidigare utförda borrhål/brunnar är användbar vid nuläget.

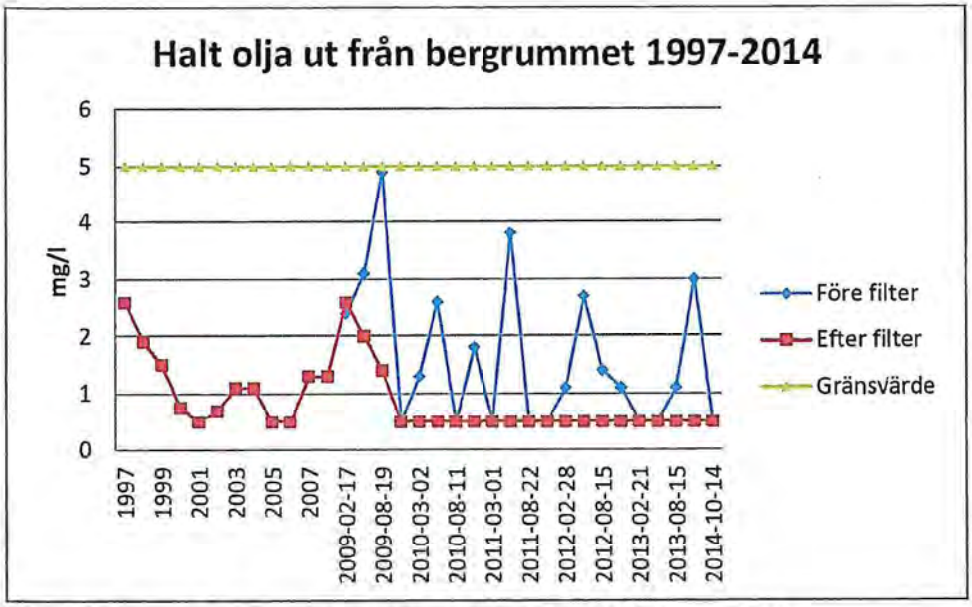
4. Föroreningssituationen

4.1 Berg

Anläggningen är sanerad, dock kan en liten mängd produktrest finnas kvar i sprickor i berget. Mängden återstående produktrest i sprickor i bergmatrisen bedöms som mycket liten då bergrummet har stått tomt under en längre tid och självblödning har kunnat pågå under flera år.

Anläggningen

Nedanstående diagram, redovisar en sammanställning av läckvattenanalyser under perioden 1997-2014. I diagrammet redovisas uppmätta halter före filtret, efter filtret samt gällande gränsvärde (5 mg/l). En tabell över uppmätta halter redovisas i bilaga 1.



Figur 7:*Diagram över uppmätta oljehalter i läckvatten ut från bergrummet.*

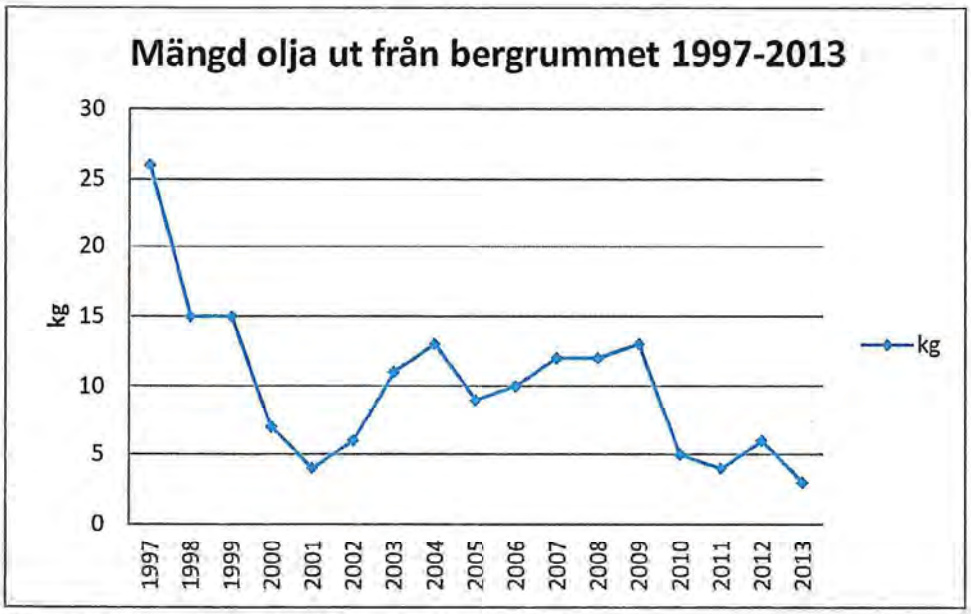
De prover som bedöms beskriva dagens situation bäst är de från åren 2011- 2014 eftersom läckvattenanalyserna före år 2011 representerar en period då anläggningen var helt eller delvis fylld med produkt. Dock är anläggningen idag sanerad varför halterna före reningssteget torde vara ännu lägre.

4.2 Jord

Oljeförorening har påträffats i marken intill ledningen som leder från bergrummet till verket samt i det dike som rinner tvärs under nämnda ledning ut i Marviken. Föroreningarna härörde från en skada på ledningen och har ej tillkommit på grund av spridning från bergrummet. Både marken intill ledningen och diket är sanerat och inga föroreningar återstår.

4.3 Recipient

Ingen utredning av eventuella produktrester i recipienten har genomförts då avbördningspunkten för läckvatten ligger inom ett troligt erosionsområde där botten består av sten och grus. Det läckvatten som leds till recipienten har genomgått reningssteg och kontrollerats innan det släpps ut. Tabell i bilaga 1 redovisar en sammanställning av analysreslutat för det renade vatten som letts till recipienten under perioden 1997-2014, se även diagram i figur 6 ovan.
Baserat på uppmätt flöde och uppmätta koncentrationer i det renade vattnet har mängden produktrester som avbördats till Marviken genomsnittligt under åren 1997 till 2014 legat på ca 10 kg/år. Mängderna har varit avsevärt mindre de senaste åren beroende på att mängden produkt i bergrummet minskat. I figur 7 redovisas ett diagram över mängden olja till recipienten. Mängderna är beräknade utifrån årlig genomsnittlig halt olja i vattnet efter reningssteget och uppmätta mängder utpumpat läckvatten.



Figur 8:*Diagram över mängd olja ut från bergrummet.*

Inga kända tillbud har inträffat i samband med lossning av produkten.

5. Mätningar och utredningar

5.1 Geologi

För att kunna bedöma bergets kvalitet inom området och för att kunna utvärdera spridningsmönstret i berget har en geologisk beskrivning av berggrunden utförts. Den geologiska beskrivningen har utförts genom sprickkartering, som ger en översiktlig bild över bergmassans sprickmönster, och genom att lokalisera eventuella svaghetszon genom refraktionsseismiska mätningar.

Utförd kartering visar att området domineras av små sprickor som ger upphov till rektangulära block. De dominerande sprickgrupperna går i sträckningarna NNO-SSV respektive VNV-OSO. Sprickkarteringen tillsammans med den refraktionsseismiska mätningen visar på att det inom området inte finns några tydliga svaghetszoner i berget, vilket tyder på att spridningsförutsättningarna i berget är små.

Utförd geologisk undersökning redovisas i bilaga 2, PM geologi.

5.2 Hydrogeologi

För att få en bra bild av de hydrogeologiska förutsättningarna inom området samt få kunskap om hur de underjordiska anläggningarna; bergrummet, pumpsalen, kraftvärmeverket och kylvattenkanalen påverkar grundvattnet har en

hydrogeologisk modell ställts upp. Scenarion vid tre olika tekniska lösningar har simulerats:

- Naturlig återrinning
- Hydraulisk avledning
- Fortsatt pumpning

Enligt utförda utredningar bedöms det inte finnas någon kontakt mellan grundvattensystemet för oljebergrummet och övriga underjordsanläggningar; kraftvärmeverket och pumpsalen. Den huvudsakliga strömningsriktningen för grundvattnet är ut mot havet, norr om bergrummet.

I modellen har även föroreningsspridning studerats. Beräkningarna har genomförts för spridning genom advektion och diffusion och har ej tagit hänsyn till adsorption eller kemiska reaktioner. Föroreningskällan har vid simuleringarna antagits hålla en konstant koncentration av 100 mg/l i cellerna innanför bergrummets väggar och spridningen har simulerats under en period av 100 år. Föroreningsspridningen i simuleringen visar från det datum bergrummet är helt uppfyllt med vatten, vilket kommer att dröja ca 7 år från det att pumpning av vatten avslutas.

Vid naturlig återrinning kommer halter av förorening ha nått havet efter 10 år, halterna kommer att ligga på ca 10% av den föroreningshalt som var i vattnet i bergrummet 10 år tidigare. Efter 100 år kommer halterna som kommer ut i havet att ha samma halt som vattnet i bergrummet.

Vid hydraulisk avledning kommer, på grund av det inåtströmmande grundvattnet, endast låga halter att nå havet. Dock ska det kommas ihåg att hydraulisk avledning är ett osäkert alternativ som avslutningsmetod för bergrummet vid Marviken (se punkt 6.2 Hydraulisk avledning).

Spridning av produkt vid fortsatt pumpning kommer att vara likvärdig den spridning som sker idag, d.v.s ingen spridning.

Utförd modellering och beräkningar redovisas i PM Hydrogeologi, bilaga 3.

6. Beskrivning av åtgärdsalternativ

I denna åtgärdsutredning för avveckling av bergrummet vid Marviken har tre alternativ studerats;

- Naturlig återrinning
- Hydraulisk avledning
- Fortsatt pumpning

6.1 Naturlig återrinning

Naturlig återrinning innebär att läckvattennivån tillåts stiga tills den når sin ursprungliga trycknivå. Detta innebär att grundvattnet i stort återfår sin naturliga nivå och någon sänktratt in mot bergrummet kommer ej att finnas. Grundvattnets trycknivå kan komma att bli något lägre precis över bergrummet än den var innan bergrummet anlades. Flödet ut från bergrummet till berg kommer vid denna avslutningsmetod att bli 0,37 m^3/dygn.

Spridning av kvarvarande produkt

Vid naturlig återrinning kommer eventuell kvarvarande produkt i fri fas att lägga sig på vattenytan, eventuellt kan en del av produkten bilda ett oljeslam och lägga sig på botten av bergrummet. När bergrummet är fyllt med vatten kommer merparten av restprodukten lägga sig direkt under taket på bergrummet. Spridning av produkt i fri fas ut från bergrummet är näst intill försumbar då den har en låg viskositet och ej gärna blandar sig med vatten vilket innebär att den ej kommer att lösas i vatten och på så vis följa med grundvattnet ut från bergrummet. En viss nedbrytning av produkten kommer att ske över tiden främst genom anaeroba bakterier vilket även det minskar spridning av produkten. Kvarvarande produkter i löst fas kommer att följa med de naturliga grundvattenflödena ut från bergrummet genom naturliga sprickor i berget.

Utifrån uppmätt flöde från bergrummet till berget och de halter som uppmätts i läckvattnet före rening så kommer 0,2 kg olja per år att tränga ut från bergrummet.

Omgivningspåverkan

Vid naturlig återrinning kommer den befintliga pumpanläggningen att kunna rivas. Dock kommer de öppningar som finns idag att behöva pluggas igen. Öppningar som har lokaliserats utgörs av schakt där olja pumpats in och ut från bergrummet.

Efterkontroll

Ingen efterkontroll kommer att kunna utföras.

Risker

Generell risk med naturlig återrinning är att det ej går att utföra några åtgärder ifall det skulle uppstå problem/höga halter när återställningen är avslutad.

Okontrollerad spridning

Prövningsplikt

Inget tillstånd finns idag för vattenverksamhet vilket innebär att det ej finns ett gällande tillstånd som beskriver hur återställande av grundvattennivån ska hanteras i samband med att bergrummet avslutas.

Naturlig återrinning har utifrån miljöbalken, 11 kap ej bedömts vara tillståndspliktigt.

Kostnad
Kostnad för pluggning av befintliga öppningar. Låg kostnad.

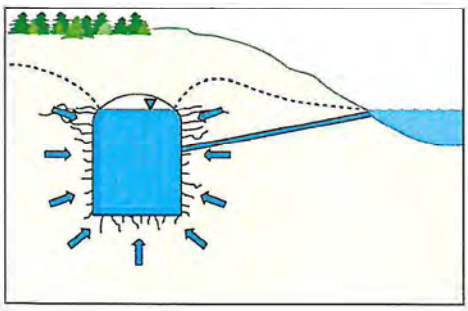
6.2 Hydraulisk avledning

Hydraulisk avledning skapar en fortsatt inåtriktad strömning av grundvattnet till bergrummet, även efter det att all läckvattenpumpning har upphört. Detta görs genom att skapa en förbindelse mellan anläggningen och recipienten. Ett krav är dock att vattenytan i recipienten har en lägre trycknivå än grundvattenytan kring anläggningen. Grundvattnet kommer att rinna in mot bergrummet och sedan genom förbindelsen ut till recipienten. Med denna metod får man god kontroll över flöde och omgivningspåverkan. I figur 9 nedan redovisas principen för hydraulisk avledning.

Eventuella rester av den lagrade produkten som förekommer i fri fas kommer att ansamlas vid grundvattenytan inom sänktratten. En mindre mängd produkt kan även komma att bilda ett oljeslam och lägga sig på botten av bergrummet, denna mängd är dock försumbar. Läckvatten som kan innehålla rester av löst produkt avleds under kontrollerade former. Metoden kommer med andra ord att fungera som en oljeavskiljare.

För det aktuella bergrummet i Marviken ses två varianter på hydraulisk avledning, A och B.

I alternativ A borras avledningshålet så att det mynnar i havsnivån, nivå +0. Med detta alternativ elimineras större delen av grundvattenflödet som sker genom bergrummet, istället sker ett utflöde genom den hydrauliska avledningen till havet. Prognosticerat flöde genom avledningen uppgår till ca 1,5 m^3/dygn. Detta medför att spridningen av förorening främst sker genom denna avledning och endast låga halter har nått recipienten efter 100 år, borträknat spridningen från den hydrauliska avledningen direkt till havet och den diffusion som sker runt avledningen. I praktiken kan detta dock vara svårt att genomföra då det krävs borrning under vatten samt att havsvattenytan varierar beroende väder och årstid vilket kan förändra situationen i bergrummet. Detta alternativ gör det även svårt att kontrollera det vatten som leds ut från bergrummet. Flödet ut från bergrummet till berg har med denna avslutningsmetod beräknats till $7,6*10^{-4}$ m^3/dygn, vilket kan anses vara lika med noll.



Figur 9: *Principskiss över hydraulisk avledning.*

I alternativ B borras avledningshålet så att det mynnar ca 1,5 meter ovan dagens havsvattennivå. Avgörande för nivå på mynningen (+1,5) har varit högsta högvattenstånd (+0,7)samt har hänsyn tagits till eventuell höjning av vattennivån på grund av klimatförändringar[2]. Inom närområdet för bergrummet har grundvattennivån bedömts ligga på som högst + 4. Detta medför att trycknivån mellan grundvattnet och mynningen på avledningsröret endast kommer att utgöras av ca 2,5 meter.
Vid detta alternativ sker enligt utförd modellering endast en marginell reduktion av flödet från bergrum till berg jämfört med alternativet naturlig återrinning. Flödet genom bergrummet har i modellen beräknats till 0.35 m^3/dygn vilket kan jämföras med knappt 0,4 m^3/dygn för alternativet med naturlig återrinning. Detta visar på att detta alternativ, enligt utförd modellering och teoretiska beräkningar, ej är genomförbar som avslutningsmetod hydraulisk avledning, metoden kommer istället att fungera som en naturlig återrinning. Trolig anledning är att när mynningen för avledningen placeras på nivå +1,5 blir gradienten för låg och vattnet från bergrummet kommer ej att kunna ledas ut, vatten kommer istället att tryckas in i bergrummet vilket innebär att någon avledning av vatten aldrig kommer att ske.

Risker
En risk med hydraulisk avledning i föreliggande fall är att det på grund av de platsspecifika förutsättningarna inte kommer att fungera och avslutningsmetoden istället kommer att bli naturlig återrinning.

Spridning av kvarvarande produkt
Vid hydraulisk avledning kommer ingen eller mycket lite av produkten att spridas då grundvattenströmningen även fortsättningsvis kommer att vara in mot bergrummet. Eventuell kvarvarande produkt i fri fas kommer att ligga kvar på vattenytan, en viss nedbrytning av produkten kommer att ske med tiden. För kvarvarande produkt i löst fas finns möjlighet att spridning kommer att ske genom avledningsgången direkt till recipienten (gäller endast alternativ A). Halten löst produkt i vattnet i bergrummet kommer dock att vara mycket låg.

Utifrån uppmätt flöde från bergrummet till berget och de halter som uppmätts i läckvattnet före rening så kommer $4{,}4*10^{-4}$ kg olja per år att tränga ut från bergrummet vid alternativ A och 0,2 kg olja att tränga ut från bergrummet per år vid alternativ B (d.v.s. likvärdigt med naturlig återinning). Hänsyn har inta tagits till den mängd produkt som kommer att komma ut via avledningsröret då tanken

[2] I slutet av detta sekel bör man räkna med en höjning av havsnivån mellan 55-120 cm. (SMHI)

med hydraulisk avledning är att detta utgående vatten ska renas innan det släpps vidare till recipient.

Omgivningspåverkan
Vid hydraulisk avledning kommer den befintliga pumpanläggningen att kunna rivas. Dock kommer de öppningar som finns idag att behöva pluggas igen. Öppningar som har lokaliserats utgörs av schakt där olja pumpas in och ut från bergrummet. Utöver detta kommer ett avledningsrör behöva borras. Vid mynningen av avledningsröret bör det förberedas plats för eventuell reningsanläggning samt möjlighet för provtagning.

Efterkontroll
Efterkontroll kommer inte att vara möjlig varken för alternativ A eller för alternativ B.

Prövningsplikt
Hydraulisk avledning innebär att en återställning av den naturliga grundvattennivån sker i ett första skede och därefter sker en bortledning av grundvattnet. Bortledning av grundvatten bedöms enligt miljöbalken, 11 kap, som tillståndspliktig verksamhet. I detta fall har dock bedömningen gjorts att det är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen skadas genom vattenverksamhetens inverkan på vattenförhållandena, vilket enligt §12, 11 kap miljöbalken medför att tillstånd inte behövs.

Kostnad
Plugga befintliga öppningar
Borra avledningsrör

6.2.1 Platsspecifik hydraulisk avledning

Då det under rådande förutsättningar kan bli svårt att anlägga en hydraulisk avledning som med säkerhet kommer att fungera har ett platsspecifikt alternativ studerats. Detta alternativ kan fungera som både hydraulisk avledning och/eller som naturlig återrinning, kontroll av vatten i bergrummet kommer att kunna ske samt kommer eventuell produkt i fri fas kunna tas om hand.

Metoden utgår från att det befintliga schakt som idag utgör in- och utlassning av produkt ej pluggas igen, istället byggs en öppen betongring över hålet som kommer fungera som en oljeavskiljare. Metoden kommer att fungera som naturlig återrinning om vattennivån i bergrummet ej kommer upp i nivå med oljeavskiljaren och som hydraulisk avledning om vattennivån i bergrummet stiger så pass att betongringen kommer fungera som en oljeavskiljare och det kan anordnas ett flöde ut från betongringen. Om metoden ska fungera som hydraulisk avledning kan vatten avledas från betongringen strax ovan marknivå. Om vattnet i bergrummet stiger upp i betongringen kommer den produkt som förekommer i fri fas att följa med vattenytan upp, detta medför att den kommer behöva

omhändertas. Fördelen med denna lösning istället för ovan beskrivna hydrauliska avledningen och den naturliga återrinningen är att vilken trycknivå det än kommer att bli på vattnet inne i bergrummet så kommer det att finnas en möjlighet att kontrollera det vatten som kommer att spridas till recipienten. Kontrollen kan utföras genom provtagning ned i det öppna schaktet. Om förutsättningarna gör så att åtgärden kommer att fungera som en hydraulisk avledning finns även möjlighet att vid behov rena det vatten som leds till recipienten. Eftersom, då vattnet leds ut från bergrumet, kommer betongringen kunna pluggas igen och eventuell rening av utgående vatten kunna avslutas.

Risker
Inga större risker har identifierats med metoden.

Spridning
Se naturlig återrinning och hydraulisk avledning ovan. Vilken spridningsbild som gäller beror på vilken avslutningsmetod som kommer att uppfyllas.

Omgivningspåverkan
Vid val av detta alternativ kommer den befintliga pumpanläggningen att kunna rivas. En betongring över schaktet för in- respektive utlasting behöver anläggas. Betongringen placeras med fördel under tak så att regnvatten ej kommer in i hålet. Om metoden kommer kunna fungera som hydraulisk avledning och betongringen kommer att utgöras av en oljeavskiljare kommer en avledning av vatten i den nedre delen av betongringen att behöva anläggas. I mynningen av denna avledning ska det förberedas för rening av vatten samt möjlighet för provtagning.

Efterkontroll
Efterkontroll kan utföras så länge behov finns. Ingen efterkontroll efter det att vatten som leds ut via den hydrauliska avledningen uppfyller gällande krav.

Prövningsplikt
Hydraulisk avledning innebär att en återställning av den naturliga grundvattennivån sker i ett första skede och därefter sker en bortledning av grundvattnet. Bortledning av grundvatten bedöms enligt miljöbalken, 11 kap, som tillståndspliktig verksamhet. I detta fall har dock bedömningen gjorts att det är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen skadas genom vattenverksamhetens inverkan på vattenförhållandena, vilket enligt §12, 11 kap miljöbalken medför att tillstånd inte behövs.

Den platsspecifika hydrauliska avledningen är tänkt att pågå under begränsad tid för att, när samtliga krav är uppfyllda, övergå till att bli en s k naturlig återrinning. Detta innebär att bortledning av grundvatten endast kommer att ske under en begränsad tid.

Kostnad
Anlägga betongring och eventuellt avledningsrör
Kontroll/provtagning under en bestämd tid

6.3 Fortsatt pumpning

Ett annat sätt, utöver hydrauliska avledning, för att bibehålla ett inåtriktat grundvattenflöde är att fortsätta pumpa. Vatten tillåts då återfylla bergrummet till dess att det är näst intill fullt. Pumpning påbörjas så att vattenflödet även fortsatt kommer att vara in mot bergrummet. Uppumpat vatten genomgår rening till dess att det uppfyller gällande riktvärde därefter pumpas det direkt till recipienten. Någon spridning eller något flöde till omkringliggande berg kommer ej att ske.

Denna metod innebär full kontroll på det vatten som kommer ut ur bergrummet. Dock kommer pumpning att behöva utföras för all framtid.

Omgivningspåverkan
Någon omgivningspåverkan föreligger inte med denna metod.

Risk
Den risk som kan uppstå utgörs främst av tekniska fel som att pumputrustning havererar eller dylikt.
En annan risk som föreligger är att information om bergrummet och dess skötsel etc kan gå förlorad efter lång tid eller vid överlåtelse av fastighet eller dylikt.

Prövningsplikt
Fortsatt pumpning kommer medföra att ingen förändring avseende vattenverksamhet kommer att ske utifrån dagens förhållanden, vilket medför att det inte finns någon verksamhet att söka tillstånd för.

Efterkontroll
Efterkontroll liknande den som pågår idag till dess att utgående vatten uppfyller gällande krav.

Kostnad
Låg kostnad. Kostnad för pumpning kommer dock alltid att finnas. Kan ge en oattraktiv mark inför eventuell överlåtelse av fastigheten.

7. Riskbedömning och utvärdering av åtgärdsalternativ

7.1 Riskbedömning

I riskbedömningen har hänsyn tagits till följande aspekter

- Miljö
- Hälsa
- Landskap

- Allmänna/enskilda intressen
- Känslomässiga aspekter

Miljö och hälsa
Ur miljö och hälsosynpunkt utgör inte något av de föreslagna alternativen någon risk. Den produkt som kommer att tränga ut från bergrummet kommer att lägga sig under bottensedimenten i recipienten och där med inte bidra till någon negativ påverkan. Den huvudsakliga aspekten till att någon påverkan på hälsa och eller miljö inte kan ses är att de mängder som kommer ut per år är mycket låga.

Landskap
Landskapsbilden kommer att påverkas olika vid de olika åtgärdsalternativen. Naturlig återrinninig ger ingen påverkan på landskapet i avslutningsfasen.

Vid fortsatt pumpning kommer landskapsbilden att bli den samma som idag, möjligt kan en ny mindre byggnad ersätta den befintliga.

Vid hydraulisk avledning kommer landskapsbilden att påverkas till viss del under kontrollfasen. I avslutningsfasen behöver det inte vara någon som helst påverkan på landskapet.

Allmänna och enskilda intressen och känslomässiga aspekter
Med allmänt intresse menas bland annat växter och djur, kulturlämningar, naturreservat, riksintressen, allmänna badplatser, framkomligheten för friluftslivet, farleder m.m. Med enskilda intressen menas egna brunnar, utsikt från privata hus, hinder till privata fastigheter m.m.

De känslomässiga aspekterna är svåra att bedöma då de olika avslutningsmetoderna kan upplevas olika av olika intressenter. T ex kan naturlig återrinning ge en negativ känsla genom att kontroll och åtgärder i efterhand ej kan ske. Metoden kan även ge en positiv känsla i och med att bergrummet blir helt tillslutet och att inga fler åtgärder kommer att behöva utföras.

Platsspecifik hydraulisk avledning torde mest ge en positiv bild då bergrummet blir avslutat samtidigt som kontroll av utgående vatten kan ske.

Fortsatt pumpning skulle kunna ge en positiv bild genom den fortsatta kontrollen på utgående vatten men samtidigt en negativ bild då det kan ge en känsla av anläggningen fortfarande är "i drift"

Samtliga ovan nämnda aspekter är sammanställda i en matris i tabell 4. I matrisen anges färgkoder över ingen risk =grön, viss risk = gul, stor risk = röd.

*Tabell **4**: Sammanställning av riskbedömning för utredda alternativ. NÅ=Naturlig återrinngin, HA=hydraulisk återrinning, PS HA= platsspecifik naturlig återrinning.*

	Miljö	Hälsa	Landsk	Allm/ensk intressen	Känslomäs. aspekter
Pumpning					
NÅ					
HA +0					
HA +1,5					
PS HA					

7.2 Utvärdering/riskvärdering

De olika åtgärdsalternativen har utvärderats utifrån följande aspekter:

- Risker
- Omgivningspåverkan
- Spridning
- Prövningsplikt
- Efterkontroll
- Kostnad
- Riskbedömning under driftfas och efter

Samtliga aspekter beskrivs ovan under" Beskrivning av åtgärdsalternativ", punkt 6. I bilaga 4 redovisas en riskvärdering i tabellform där rutorna har färgkodats utifrån grön = bra metod, gul =ganska bra metod, röd = inte så bra metod. Dessa färgkoder kan sedan slås samman för att få fram den mest lämpade åtgärdsmetoden för att avsluta bergrummet.

8. Förordat alternativ

Utifrån utförd riskvärdering förordas alternativet Platsspecifik hydraulisk avledning. Denna metod har även valts av Vattenfall som den metod de vill avsluta bergrummet vid Marviken på.

Platsspecifik hydraulisk avledning förordas då det bedöms vara den metod som bäst uppfyller de krav Vattenfall har på avslutningsmetod så som:

- Minimal risk för negativ påverkan på miljön
- Minimal påverkan på allmäna och enskilda intressen
- Minimal omgivningspåverkan på lång sikt
- Bergrummet kan på sikt avslutas helt utan fortsatt insatts av Vatetnfall

Metoden bedöms även vara den metod på vilken bergrummet kan avslutas på det mest kontrollerade tillvägagångssättet genom att det under hela avslutningsprocessen går att utföra mätningar och kontroller på föroreningsförekomst och grundvattennivåer. Ett kontrollprogram som beskriver hur dessa kontroller ska utföras kommer att upprättas. Då bergrummet kommer att vara öppet under avslutningsfasen skulle det även gå att åtgärda eventuella problem som skulle kunna uppstå.

Exakt utformning av den platsspecifika hydrauliska avledningen samt utsläppspunkt kommer att tas fram i projekteringssteget.