

EXAMENSARBETE

KEMITEKNIK

HÖGSKOLEINGENJÖRSUTBILDNINGEN

Underjordsförvar av flygaska

Olle Westmar

KTH

Stockholm

2012



KTH KEMITEKNIK
HÖGSKOLEINGENJÖRSUTBILDNINGEN

EXAMENSARBETE

TITEL: Underjordsförvar av flygaska

ENGELSK TITEL: Underground depository of fly ash

SÖKORD: Underjordsförvar, flygaska, underjordsdeponering, avfallshantering, säkerhetsmetodik

ARBETSPLATS: Citres/KTH

HANDLEDARE PÅ ARBETSPLATSEN: Sami Serti

HANDLEDARE PÅ KTH: Janne Vedin

STUDENT: Olle Westmar

DATUM: 2012-06-27

GODKÄND: (examinators underskrift)

EXAMINATOR: Janne Vedin

Sammanfattning

Vid avfallsförbränning utvinns energi men som biprodukt också den miljöfarliga flygaskan. Problemen med flygaskan har alltid varit många. Den har exporterats till Langøya i Norge för att hamna på underjordsdeponi vilket inte är ett hållbart alternativ då den beräknas vara uppfylld 2023-2025. Flertalet försök att genomgått för att hitta användningsområden men det vanligaste är att den deponeras. Flygaskan från avfallsförbränning innehåller höga halter av tungmetaller och salter och är miljöfarlig.

Ett sätt att använda flygaskan är genom utfyllning av hålrum såsom gruvor eller oljelagringsrum som ej används. Detta innebär alltså att flygaskan nyttogörs och kan ses som en resurs istället för ett bekymmer. I grunden är det dock en typ av deponering.

Skall den deponeras finns det en rad säkerhetsrisker som måste gås igenom. Om inte hanteringen och deponeringen av askan kan göras helt slutna utan spill bör den förbehandlas. Ett vanligt förbehandlingssteg är inkapsling i cement.

På Händelöverket i Norrköping finns det flera oljelagringsrum som tidigare var fyllda med olja men som idag används för just underjordsförvaring av flygaskor. Dessa rum har genomgått miljödomsbeslut där det ställs upp många krav på hur säkerheten skall gå till i rummen. En viktig parameter är hur det säkerställs att vätgashalten ej blir för hög då det råder en explosionsrisk om så är fallet.

Underjordsdeponeringen av flygaska kan liknas den deponering som sker för kärnavfall, framförallt för låg- medelaktivt kärnavfall. Säkerhetsmetodikerna som tagits fram av SKB bör kunna anpassas för att göra det enklare att konstruera nya underjordsförvar för flygaskan.

Ekonomiskt sätt är det betydligt billigare att använda befintliga berggrum och sedan preparera dem för förvaring jämfört med att konstruera helt nya förvar. Grovt uppskattat skulle kostnaden att bygga nytt underjordsförvar kosta ca 608 kr/m³ och för att rehabilitera en befintligt oljelagringsrum 45 kr/m³. Fördelen kan dock vara att vid ny byggnation av förvar kan lokaliseringen bestämmas och en placering nära hav är fördelaktigt då utlakningen av salter ej blir särskilt påverkande.

Abstract

When extracting energy from waste combustion an environmental hazardous byproduct is made which is fly ash. The problem with fly ash has been many. It has been and still is being exported to Langøya in Norway where it is being deposited in a landfill. A number of trials to find usages for this fly ash have been made but the most common one is to deposit it in a landfill. It contains metals and salts which is why it's considered hazardous to environment.

A way to make a good use out of the fly ash is to use it as a filler material for spaces in the ground such as old mines or oil depositories.

If it is to be used as a depository material there is a number of security measurements it has to go through. If the usage of the fly ash is not completely contained it has to be prepared in such way that it is not a risk that it would leak out into the open. This can be achieved by combining it with concrete to create a solid mass instead of a near like gas which it is naturally.

In Händelöverket, Norrköping, there are a number of underground oil depository rooms which earlier were filled with oil but are now used as an undergrounds storage facility for fly ash and other hazardous materials. These underground rooms have gone through a number of security checks to make sure it is as safe as it can be. An important parameter is to make sure the hydrogen gas level is not too high cause of the risk of explosion.

The undergrounds depository of fly ash can be similar to the depository of nuclear waste, in particular the low- and medium active nuclear waste. The safety measures that have been developed by SKB should be able to adjust and adapt to the construction of new underground depositories of fly ash.

In an economical stand point it is by far cheaper to use the existing underground rooms that exist today than constructing entirely new underground rooms for depository. The financial costs for constructing a new facility is 608 kr/m³ meanwhile for the preparation of an existing underground oil depository is about 45 kr/m³. The advantage with constructing a new underground depository is that the localization of the storage facility can be chosen. The ideal is to have it near saltwater because of the leakage of salt will not strain the ocean as much.

Innehåll

Sammanfattning.....	4
Abstract	5
1. Inledning.....	8
1.1. Syfte och mål.....	8
1.2. Metoder.....	8
1.3. Begränsningar.....	8
2. Bakgrund	9
2.1. Avfallsförbränning	9
2.2. Flygaska	10
2.3. Askproduktionens ökning 2006-2010.....	10
2.4. Omhändertagande av flygaska.....	11
3. Fall där deponering av flygaska sker	12
3.1. Langøya i Norge.....	12
3.2. Saltgruvor i Tyskland	13
3.3. Händelöverket i Norrköping.....	13
3.4. Andra fall	14
4. Hantering av flygaska	15
4.1. Behandling av flygaska	15
4.2. Användningsområden för flygaska.....	15
4.3. Deponering av flygaska	16
4.3.1. Upprättandet av nytt underjordsförvar	16
4.3.2. Deponering i befintliga bergtrum	16
5. Genomförande i befintligt bergtrum.....	17
5.1. Sanering av rester.....	17
5.2. Vattennivåer.....	17
5.3. Behovet av förbehandling	17
5.4. Lakvattenbildning	18
5.5. Vätgasbildning	18
5.6. Kontroll under drift.....	18
5.7. Tekniska barriärer.....	19
5.8. Avslutning av deponin	19
6. Riskbedömning.....	19

6.1.	Krav från myndigheter.....	19
6.2.	Platsspecifik riskbedömning vid befintligt bergrum.....	20
6.3.	Säkerhetsprinciper	21
6.4.	Säkerhetsanalys.....	21
7.	Säkerhetsmetodik för kärnavfall	22
7.1.	KBS-3-metoden.....	22
7.2.	Låg-/medel aktivt kärnavfall.....	22
7.3.	Platsundersökning för högaktivt kärnavfall.....	23
7.3.1.	Underjordsförvarets storlek	24
7.3.2.	Barriärer för använt kärnbränsle.....	25
7.4.	Geosfär	25
7.5.	Återfyllning av underjordsförvar av kärnbränsle	27
7.6.	Säkerhetsanalys.....	27
8.	Ekonomiska aspekter.....	28
8.1.	Nytt underjordsförvar	28
8.2.	Befintligt bergrum, preparering för underjordsförvar	28
9.	Slutsats	29
	Referenser	30

1. Inledning

Vid avfallsförbränning utvinns energi och värme men med detta erhålls även miljöfarlig flygaska. Denna flygaska måste omhändertas på ett korrekt sätt. Det finns olika tekniker för att hantera denna flygaska och göra den mer stabil. Det finns även möjlighet att återvinna delar av de metaller som finns i flygaskan. Vanligast är dock att de hamnar på deponi och där krävs det en hög säkerhet för att miljöfarliga ämnen ej ska lakas ur med för hög halt. En stor del av den flygaska som produceras i Sverige exporteras till Langøya i Norge för att där deponeras i ett underjordsförvar. Denna deponi har dock en begränsad kvarvarande kapacitet och det är därför av vikt att hitta andra alternativ såsom underjordsförvar i Sverige. Underjordsförvar för flygaska bör i många fall kunna liknas vid de som planeras eller existerar för radioaktivt avfall. Viktigt är att ställa upp säkerhetsparametrar för underjordsförvaren för att säkerhetsställa att inga miljöfarliga metaller och ämnen lakar ut för snabbt till recipient. Den riskutvärderingsmetodik för att undersöka den långsiktiga påverkan på människa och miljö som utvecklats av kärnavfallsindustrin bör i många fall kunna appliceras på flygaskor, då framförallt låg- och medelaktivt kärnavfall. Med långsiktigt syftar man på ett tusenårsperspektiv och vad som kan tänkas hända med deponin under denna tid. För att skapa en bild om underjordsförvar är det viktigt att kompilera dagens kunskapsläge inom deponering av flygaska både i Sverige och internationellt. Det finns redan idag ett underjordsförvar som är i bruk på Händelöverket i Norrköping som utnyttjar ett uttjänt gammalt oljebergrum som förvar. Lokaliseringen har en stor betydelse för hur förvaret kan se ut och hur säkerheten skall anpassas. Vidare är bergets kvalitet likaså av yttersta vikt för att minska intaget av grundvatten. Utnyttjas gamla bergrum såsom gruvor och oljebergrum är lokaliseringen redan klar och anpassningen av dessa är nästa steg.

1.1. Syfte och mål

Syftet med projektet är att sammanställa en kunskapsamling kring den information som finns kring hur långsiktig säkerhet fastställs i både Sverige och internationellt inom underjordsförvar av både flygaska och andra farliga avfall. Projektet ämnar även fastställa den riskutvärderingsmetodik som utvecklats av den svenska kärnavfallsindustrin. Ekonomiska aspekter ska även undersökas vid upprättandet av nytt underjordsförvar jämfört med ett befintligt.

1.2. Metoder

Arbetet kommer ske genom kontakt med företag och myndigheter som har den information som är relevant för projektet.

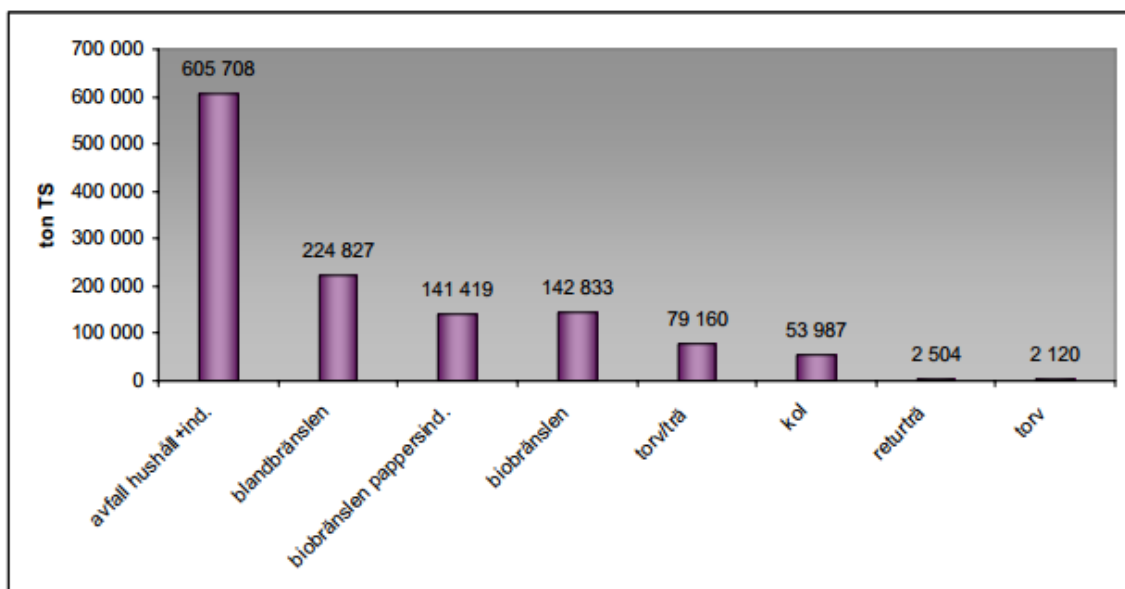
1.3. Begränsningar

Rapporten kommer framförallt fokusera på de underjordsförvar som kan tänkas byggas i Sverige och som redan finns här.

2. Bakgrund

2.1. Avfallsförbränning

Avfallsförbränning är ett sätt att minska volymen avfall som i annat fall skulle hamna på avfallsupplag och också ett sätt att erhålla värme och elektricitet. Det är framförallt vanligt förekommande i länder där utrymmet för deponering är begränsat såsom Japan och Västeuropa. Genom denna förbränning erhålls fjärrvärme och el till hushåll. Svenska avfallsförbränningsanläggningar producerar fjärrvärme för det årliga värmebehovet för ca 600 000 lägenheter och elbehovet för ca 100 000 lägenheter [5]. Av den totala elproduktionen står avfallsförbränningen för 0.3% av den totala elproduktionen, vilket motsvarar den elproduktion som kommer från vindkraft. Illustrerat i figur 1 är de producerade totala askmängderna (bottenaska och flygaska) för 2006 där det finns en klar majoritet av aska från avfallsförbränning från hushåll och industri.



Figur 1 Producerad aska mätt i ton TS (torr substans) från 2006 [12]

I stället för att se avfallet som ett problem är det viktigt att det även ses som en resurs. I dagsläget förbränns ca 46 % av hushållsavfallet [5]. Den största andelen av avfallet kommer från hushåll, men en stor del kommer även från industrier.

En viktig del av avfallsförbränningen är att avfallet sorteras innan det kommer till förbränning för att minska mängden farligt avfall såsom kvicksilver som hanteras. För att få en bra förbränning är det viktigt att avfallet ej har för hög fukthalt och att de miljöfarliga ämnena begränsas till den mån det är möjligt.

De olika förbränningsteknikerna som är vanligast förekommande är fluidiserad bädd och rosterpanna. Vid användandet av avfall istället för fossila bränslen minskar mängden växthusgas som släpps ut då avfallet till stor del innehåller organiska ämnen och papper. Det finns i Sverige både anläggningar som producerar el och värmeenergi och de som enbart producerar värmeenergi.

I många aspekter är förbränningen av avfall analog med förbränningen av fast eller flytande bränsle med den väsentliga skillnaden att bränslet inte är homogent. Detta leder även till att förbränningen sker långsammare än vanligt för vanligt bränsle. En annan stor skillnad är att avfallet innehåller betydligt mer miljöfarliga ämnen såsom tungmetaller och klorider.

Ur 1 ton avfall erhålls ca 300 kg bottenaska och 30-40 kg flygaska [3]. I och med att avfallet innehåller större mängd farligt avfall än fossilt bränsle ställs också högre krav på reningstekniken. Både torra och våta rökgasreningstekniker används såsom skrubber och filtersystem.

Jämfört med 20 år tidigare är reningsteknikerna avsevärt mer sofistikerade på grund av högre krav från myndigheter. Utsläpp av till exempel kvicksilver har minskat avsevärt (ungefär 99 %) sedan 1985 [5]. De tekniker som används för rökgasrening är bland annat rökgasåterföring, elektrofilter och rökgaskondensering. Ett vanligt sista steg för att minska mängden dioxin är att spruta in aktivt kol i rökgaserna före det sista reningssteget i form av textilfilter. En annan viktig aspekt för att få ett bra reningsresultat är att få en fullständig förbränning av allt brännbart material i pannan, detta ökar även mängden dioxiner som destrueras.

Vid genomförd förbränning återstår slagg, bottenaska och flygaska. Flygaskan kan avskiljas med hjälp av elektrofilter för att sedan tas hand om.

2.2. Flygaska

I och med den avfallsförbränningen vi har i Sverige produceras en stor mängd flygaska, närmare 60 000 ton flygaska och rökgasreningrester per år mätt från 2004. Utöver detta produceras även ca 300 000 ton slagg per år [3]. Flygaskan innehåller både organiska föreningar som dioxiner men även en del miljöfarliga tungmetaller. Det är framförallt i flygaskan som dioxiner är närvarande men även i slagget, dock en väldigt liten del, 2-4 % av de halter som återfinns i flygaskan. De flesta anläggningarna i Sverige klarar av de krav som finns uppställda för utsläpp av dioxin.

Eftersom flygaskan oftast innehåller både dioxiner och tungmetaller klassas den som miljöfarligt avfall och måste därför deponeras. Det är dock förhållandevis lätt att destruera dioxinerna jämfört med tungmetallerna och därför är oftast dioxinerna ej ett problem.

Den flygaska som uppkommer vid förbränning av avfall kan till viss del vara lik den flygaska som uppkommer vid malmbrytning.

Flygaska bedöms ha en fukthalt på ca 20 % och en densitet på 1,6 ton/m³ enligt Svenska Energiaskor AB [12].

2.3. Askproduktionens ökning 2006-2010

Den mängd producerad aska har ökat från 2006 till 2010 med ca 27 % om man estimerar askproduktionen från den mängd energi som producerats vilket år 2006 var 67 284 GWh medans år 2010 var 85 476 GWh [13].

Undersöker man den totala askproduktionen år 2006 med alla bränslen inräknade var ca 1,25 miljoner ton TS medans år 2010 1,5 miljoner ton TS vilket motsvarar en ökning på ungefär 20 %. Av

den totala mängden aska på 1,5 miljoner ton TS år 2010 motsvarade flygaska från hushåll och industri (som denna rapport syftar på) ca 80 000 ton TS[13].

I Sverige förbrändes alltså mer år 2010 jämfört med 2006 och kurvan förväntas inte avta vilket innebär att det krävs resurser för att hantera den mängd flygaska som kommer produceras och har produceras.

2.4. Omhändertagande av flygaska

Deponering av flygaska är något som enbart bör göras om inga andra alternativ finns tillgängliga. Om hela processen från förbränning till deponering kan göras helt tätt (utan utsläpp av någon flygaska) så är det möjligt att deponera flygaskan obehandlad (vilket sker på Händelöverket). Om askan klassas som icke miljöfarlig kan direkta besparingar göras då den kan återanvändas som byggnadsmaterial. Att bevisa att askan är ofarlig är dock något som bevisats vara väldigt svårt och sker väldigt sällan.

Det finns två olika situationer vid slutförvaring av flygaskan eller farligt avfall, antingen nyttiggörs avfallet genom att fylla upp gamla gruvor eller underjordslagringsrum och då måste det bevisas att detta är viktigt för de geologiska funktionerna i berget. Det andra fallet är att avfallet ses som något som måste deponeras och nyttiggörs då ej, trots att båda fallen är desamma så skiljer det i kostnad då ren underjordsdeponi är dyrare på grund av skatter. Oftast är det svårt att bevisa att håligheter i berget måste fyllas upp, det ställs också högre krav på avfallet att det ej innehåller för mycket farliga metaller.

Behovet att fylla upp icke fyllda bergrum kan vara för att minska en framtida risk att rummet kollapsar och då får en inverkan på markytan med skador och dylikt. Ytterligare finns det risk att det ofyllda bergrummet påverkar grundvattnets naturliga strömmar i bergmassan och detta kan i sin tur medföra dränering av finkorniga jordar samt sämre möjligheter för lokalbefolkningen att ta dricksvatten från bergrunden.

3. Fall där deponering av flygaska sker

Det finns ett flertal fall där deponering av flygaska sker i underjordsförvar. För tillfället finns endast två fall i Sverige där underjordsförvaring av flygaska sker vilket är i Gävle och i Norrköping. Annars exporteras den största mängden av flygaskan

3.1. Langøya i Norge

Langøya, i Norge, är ett före detta kalkstensbrott som hanterar farligt avfall och förorenat material. Genom att fylla upp de gamla gruvorna kan marken nyttjas för byggnationer[6]. I anläggningen stabiliseras materialet innan det deponeras i ett underjordsförvar under vattenytan. Förvaret var tidigare ett kalkstensbrott men har till största del i dag till uppgift att förvara farligt avfall. Langøya tar emot miljöfarligt avfall från flera nationer, där ibland Sverige och Danmark. Det stabiliserade avfallet används för att fylla ut de gamla kratrarna som uppgår upp emot 40 meter ner under havsnivå. Enligt deras egna uppskattningar beräknas kratrarna vara uppfyllda 2023-2025 vilket innebär att andra alternativ för den svenska flygaskan måste beaktas [1]. År 2010 skickade Sverige ca 27 000 ton TS till Langøya vilket är en minskning jämfört med år 2006 då vi skickade 32 000 ton TS[12]. Värt att notera är dock att detta ej behöver enbart vara flygaska från förbränning av hushållsavfall.



Figur 2 Ön Langøya vid norra Norges kust[1]

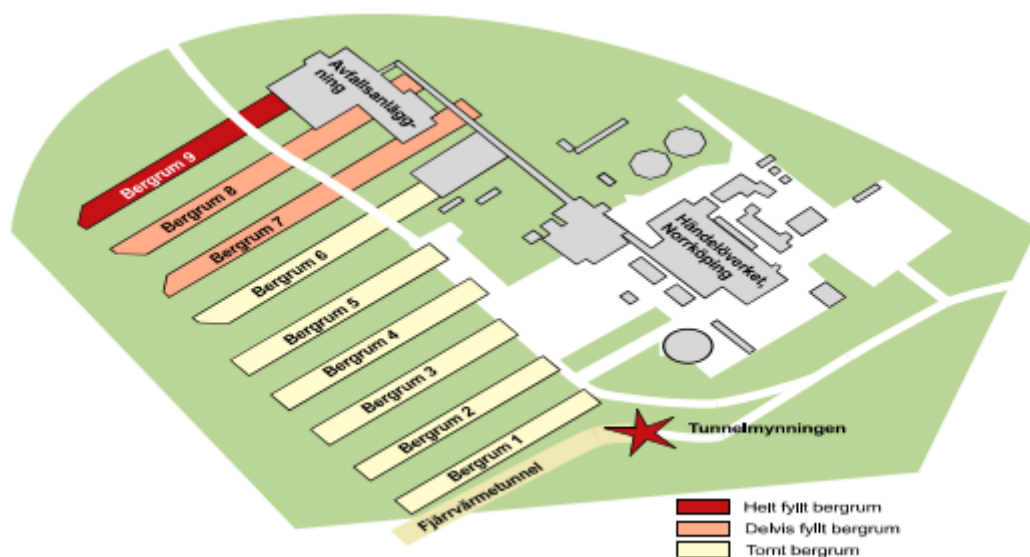
3.2. Saltgruvor i Tyskland

Ett alternativ till att skicka flygaskor till Langøya är att skicka de till Tyska saltgruvor. Efter att askorna har behandlats, härdats och avgasats från vätgas, så skickas askorna ner i de 70 m djupa gruvorna för att på så sätt fysiskt stabilisera gruvorna genom uppfyllnad så de ej faller ihop. I vissa av dessa gruvor har det skett en viss vattengenomträngning vilket innebär att de ej är passande för lågaktivt kärnavfall[7].

Avfallet ses i detta fall som en resurs som kan återanvändas som fyllnadsmaterial för stabilisering av bergrunden.

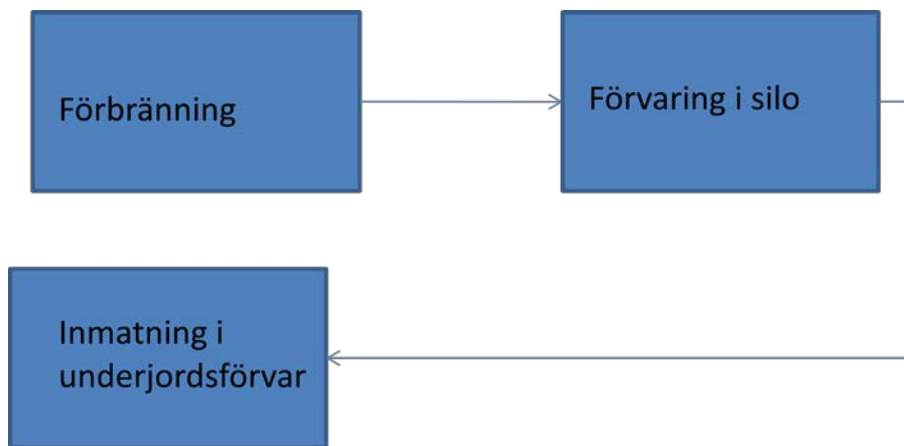
3.3. Händelöverket i Norrköping

Händelöverket är en av Eons anläggningar med flertal kraftvärmeverk som förbränner både avfall och biobränslen. I mitten på 90-talet fick Händelöverket tillstånd att fylla ett av bergrummen (rum 9) med flygaska. I början på 2000-talet fick de även tillstånd att fylla upp bergrum 8. Bergrummen, som ligger ca 30 m under ytan, nyttjades tidigare som oljelagringsrum men eftersom detta ej är särskilt aktuellt är det en utmärkt lösning att lagra rökgasreningsrester. När uppfyllnaden av rummen godkändes började de prepareras för lagring av rökgasreningsrester. De fick senare tillstånd från länsstyrelsen i Östergötland att deponera askan. Den väsentliga skillnaden var att innan tillstånd för deponering användes askan för utfyllnad av tre av de befintliga bergrummen (rum 7-9) illustrerade i figur 3.



Figur 3 Översiktsbild över oljelagringsrummen på Händelöverket.

För att förbereda borrades ett antal hål för att sprida ut askan då den transporterades samt ventilationssystem för att ej få en för hög vätgasbildning. På Händelöverket blåses flygaskan ner torr, dvs den prepareras ej utan tas i princip direkt från förbränningsprocessen, illustrerat i figur 4. Lagringsrummen sanerades delvis från olja och fylldes med vatten. Tanken är att det skall vara en långsam utlakningsprocess över väldigt lång tid (1000-tals år)[15].



Figur 4 Förlopp för flygaskan på Händelöverket [15]

3.4. Andra fall

Det finns andra fall där ansökan om deponi har avslagits. I Gävle kommun ansökte Ragn-Sells tillstånd att få deponera avfall i bergtrum vid Fredriksskans som tidigare använts för förvaring av olja. Anledningen till avslaget var att bolaget ej kunde påvisa att underjordsförvar var att föredra framför en ytbelagt deponering. Ragn-Sells kunde heller inte påvisa att de krav som ställs på en deponi hade uppfyllts (topp-botten tätning, geologisk barriär). Kommunen anförde att det saknas en platsspecifik bedömning och samlagring av olja och avfallsrester inte är lämplig. Yttligare var placeringen ej lämplig då det fanns närliggande badplatser och tätbefolkade områden. Spridningsrisken ansågs för stor[11].

4. Hantering av flygaska

4.1. Behandling av flygaska

För att minska flygaskans tendens att släppa ut miljöfarliga föreningar såsom tungmetaller finns det flera olika behandlingar. De mest förekommande är:

- Stabilisering – Innebär att askan blandas med cement eller liknande för att stabilisera denna och göra den mindre rörlig och på så sätt minska lakbarheten.
- Kemisk behandling – Genom tillförsel av basiska och sura lösningar lakas de alkaliska föreningar och tungmetaller. Det som återstår kan sedan återföras till förbränningen för destruktion av organiska föreningar såsom dioxiner.
- Termisk behandling – Termisk behandling innebär att askan hettas upp så att lättflyktiga metallföreningar avgår och resten av materialet kan sedan sintras eller förglasas. En termisk metod utnyttjar temperaturintervall mellan 300 - 1500°C. Vid de lägre temperaturerna destrueras dioxinet från askan och en del flyktiga tungmetaller. Vid en temperatur på 900°C förbränns de mer svårflyktiga metallföreningarna och överförs till flyktiga klorider. Vid högttemperaturområdet (1000-1500°C) utnyttjas elektrisk uppvärmning och dioxinerna destrueras fullständigt de tungmetaller som ej förbränns blir hårt bundet i det som återstår, på så sätt kan volymen minskas med 80 % och besparingar kan göras på deponikostnader.

Termisk behandling är ett effektivt sätt att rena askan från dioxiner och en del tungmetaller och oftast blir askan tillräckligt ren för att kunna användas till byggnadsmaterial. En av nackdelarna är energiåtgången som tar upp till 25 % av den erhållna energin från förbränningen i anspråk [3]. Även de andra metoderna kräver energi men dock inte lika mycket som den termiska.

4.2. Användningsområden för flygaska

Flygaskan kan om möjligt återanvändas, detta kräver dock att den är renad till den grad att det inte längre är en miljöfara. För att säkerställa detta används ofta en termisk behandling som säkerställer att inga dioxiner är kvarvarande i askan. Efter behandling kan askan användas till byggnadsmaterial och fyllnadsmaterial. Det finns även möjlighet att återvinna metaller på så sätt.

4.3. Deponering av flygaska

Eftersom det har visat sig vara väldigt dyrt att genomföra termisk behandling leder det ofta till att en cementstabilisering används för att sedan slutförvara flygaskan. I Sverige exporterar vi ca 30-40% av flygaskan för slutförvaring i Norge, Langøya. Denna anläggning har dock en begränsad kvarvarande kapacitet och är därför inte ett långsiktigt alternativ. Det krävs därför hållbara alternativ.

4.3.1. Upprättandet av nytt underjordsförvar

Möjligheten finns att upprätta ett nytt underjordsförvar och lokaliseringen kan då väljas så den gynnar flera faktorer såsom närheten till förbränningsanläggning för att minska transportkostnader och utsläpp samt att förvaret kan ligga nära havet. Det är också möjligt att ge förvaret tekniskt optimala förutsättningar. Den självklara negativa aspekten är då att det genast blir väsentligt dyrare då nybrytning krävs. Placering av deponin i ett massivt berg med få sprickor ger ett lågt flöde av vatten och begränsar då mängden farliga ämnen som kan transporteras via grundvattnet till recipienterna i omgivningen.

I en gynnsam geologi är det rimligt att en anläggning på endast tiotals meter djup har möjligheten att dra nytta av en naturligt skyddande geologisk barriär. Det är dock fördelaktigt att ha underjordsförvaret på ett högre djup (100-200m) då nytta kan dras av att grundvattnet ej har särskilt högt innehåll av fritt syre. För att möjliggöra deponi i ett underjordsförvar krävs ovanjordsanläggningar med den infrastruktur som krävs såsom ramp ner till deponin och mottagningsstation för avfallet [4].

4.3.2. Deponering i befintliga bergrum

Att deponera i befintliga bergrum, såsom uttjänta gruvor eller oljelagringsrum, är fördelaktigt både ekonomiskt och ur miljösynpunkt då det krävs kraftiga ekonomiska resurser att uppföra nytt underjordsförvar. Det finns väldigt många bergrum som ej är i bruk där underjordsförvaring kan ske, det är även möjligt att förvara i gruvor som är i bruk genom att avskilja de delar där förvaringen sker. Nackdelen med förvar i befintliga bergrum är att det ej går att bestämma lokaliseringen då denna redan är styrd till de platser som det finns bergrum.

Att deponera farligt avfall, i detta fall flygaska, i befintliga bergrum prövas enligt miljöbalkens bestämmelser och kan då ske på de två olika sätt som tidigare nämnt: Som en utfyllnad av hållighet eller som ett underjordsförvar. Eftersom båda bestämmelserna är plats specifika finns det inga generella regler för hur detta kan ske.

I Sverige finns det två platser där tillstånd givets för deponering/utfyllnad av gamla bergrum, Händelöverket i Norrköping och Gävle. På Händelö i Norrköping som drivs av EON fick man tillstånd att deponera aska från förbränning av utsorterat hushålls och industriavfall. I Gävle gav tillståndet till utfyllnad av bergrum med oorganiskt avfall.

För att deponeringen ska ske måste verksamheten genomgå en platspecifik hälso- och miljöprövning oavsett om den klassificeras som deponering eller nyttogörande av avfallet. Om avfallet ska nyttogöras måste det förutsättas att ett behov av att fylla igen de gamla bergrummen erfordras [2].

5. Genomförande i befintligt bergtrum

För att öka säkerheten och minska riskerna att farliga ämnen läcker ut i stora kvantiteter finns det en rad olika åtgärder som måste gås igenom.

5.1. Sanering av rester

För att deponera i befintliga bergtrum krävs att de är sanerade från det som tidigare lagrats eller hanterats i bergtrummen. Detta bör göras tidigt då det kan vara svårt att sanera då rummen är fyllda med flygaska och rökgasrester. För att få tillstånd att förvara i gamla oljebergtrum krävs att de är sanerade från petroleumprodukter. En viktig del att framhålla är att lagring av gamla rökgasrester eller flygaska minskar miljöriskerna som kan uppkomma vid lagring av petroleumprodukter då flygaskan eller rökgasresterna suger upp resterna och då minskar risken för spridning till grundvattnet. Det finns en risk att en del av de flytande resterna (t.ex. petroleumprodukter) som finns i bergtrummet läckt ut i berget på grund av utfyllnaden. Dessa rester kan återläcka till bergtrummet och detta kan ta flera år innan allt är återläckt.

5.2. Vattennivåer

I början av förvaringen sker en länshållning av inkommande grundvatten. Detta sker helst under vattenytan för att säkerhetsställa att det blir en full utfyllnad av flygaska i bergtrummet. För att säkerhetsställa detta krävs övervakning och styrning av vattennivån med hjälp av pumpar. Är det för högt/lågt vattenstånd i rummet kan hårdningen i askan störas. När berganläggningen är helt fylld avslutas deponeringen med att rummet/rummen fylls upp med vatten och all pumpning avslutas.

Allt lakvatten och inkommande grundvatten pumpas ut från anläggningen och kan i den strömmen kontrolleras och eventuellt renas om så behövs.

5.3. Behovet av förbehandling

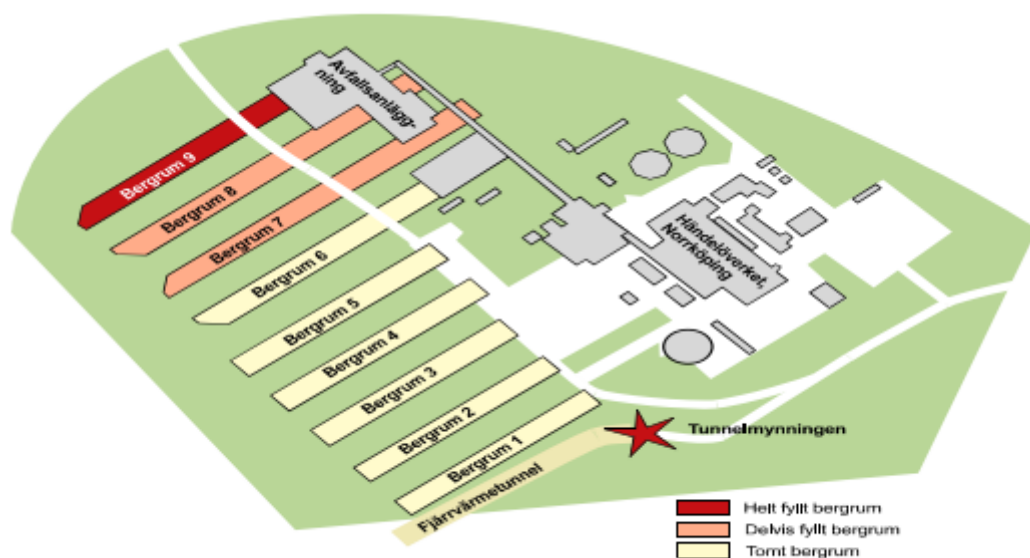
Eftersom flygaska i sin ursprungliga form är dammande bör det antingen behandlas på något sett eller hanteras i totalt slutna system. Besparingar kan göras om hela processen från förbränningspannan till bergtrum kan göras helt slutet eftersom ingen behandling av flygaskan behövs och den kommer konditioneras av den inkommande vattenströmmen.

5.4. Lakvattenbildning

Hur mycket lakvatten som bildas bestäms av flera gradienter såsom hur hög vattenomsättning i det deponerade avfallet har som i sin tur bestäms av hur hög hydraulisk genomsläpplighet berget har. Genomsläppligheten av grundvatten mäts i enheten meter/sekund och en tät bergmassa har en hydraulisk konduktivitet på ca $1 \cdot 10^{-9}$ m/s och en härdad aska har ungefär samma genomsläpplighet. I sprick eller krosszoner kan berget ha en hydraulisk konduktivitet i på ca $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Härdningen av flygaskan äger rum under flera år och minskningen av den hydrauliska konduktiviteten äger rum under hela tiden som flygaskan härdas, minskningen är dock som mest påtaglig under det första året som askan deponeras.

5.5. Vätgasbildning

Vid deponering av askor från förbränning sker en bildning av vätgas genom att metalliskt aluminium som finns i askan reagerar med vatten och syre. För att undvika explosionsrisk krävs att deponin ventileras så att vätgasnivån är tillräckligt låg samt att deponeringen av avfallet ej sker för snabbt för att låta aluminiumet oxidera något och därmed minska explosionsrisken. Är det mer än 4 % vätgas i luften är det hög explosionsrisk. Ett fall där vätgashalten var för hög var i Händelöverket 2004 då bergtrum 7, figur 6, exploderade efter att man påbörjat fyllning av flygaska från avfallsförbränning. Explosionsrisken har idag minskats väsentligt då man ventilerat rummen och fyllt dem med vatten.



Figur 5 Bergtrummen i Händelöverket där bergtrum 7 exploderade år 2004 pga hög halt av vätgas[14]

5.6. Kontroll under drift

För att öka säkerheten ur miljösynpunkt finns det en rad förhållanden som är viktiga att ha kontroll över under drift. Dessa är:

- Askornas lakningsegenskaper
- Askornas härdningsegenskaper
- Effektiviteten i bekämpningen av damning och spill av aska
- Utfyllnadsgraden i bergtrummen

- Vätgashalten i bergrummen
- Vattenståndet i bergrummen och i det omgivande grundvattnet

När deponering/fyllningen av flygaskor i bergrum är avslutad krävs förseglingsåtgärder för att minska risken att förorenade ämnen läcker ut. Dessa åtgärder kan bestå av att fylla igen öppningar i bergrummen som t.ex. gamla borrhåll eller transportschakt. Förseglingen sker vanligtvis med betong men hänsyn måste tas till om pluggen blir utsatt för mycket vatten.

Vid kraftiga kross- och sprickzoner kan det vara bättre att utföra tätningsinjektering och det utförs vanligtvis från markytan.

5.7. Tekniska barriärer

Utöver att stabilisera avfallet så att det får en både fysiskt och kemiskt stabilare form finns det en rad olika tekniska lösningar för att säkerhetsställa att farliga ämnen ej lämnar deponin. Det handlar framförallt om att minska mängden strömmande vatten som kan strömma in och ut genom att förse förvaringsrummen med tätande skikt för att få en så låg vattengenomtränglighet som möjligt. Skiktet kan bestå av t.ex. en lämplig lera. Enligt analyser från Statens Offentliga Utredningar (2008) finns det tekniska möjligheter med hjälp av framförallt olika leror att hindra grundvatten att nå avfallet och då skydda omgivningen från farliga ämnen[4].

5.8. Avslutning av deponin

När underjordsförvaret är avslutat, dess kapacitet fylld, ska man kunna avsluta övervakning och lämna anläggningen förseglad. Förvaringsutrymmena ska fyllas med vattentätt material och sedan successivt fyllas upp med vatten såsom tillämpas vid låg- och medelaktivt kärnavfall.

6. Riskbedömning

6.1. Krav från myndigheter

Vid upprättandet av en underjordsdeponi, oavsett i ett nytt eller befintligt bergrum, måste verksamheten genomgå en platsspecifik hälso- och miljöprovning, även om den klassificerats som nyttiggörande av bergrummet. För nyttiggörandet av bergrummet krävs redovisning att det finns ett behov av uppfyllnad samt att materialet är tekniskt lämpligt att använda för uppfyllnad [2]. Beständigheten (förmågan att materialet ej förändras med tiden) provas även hos uppfyllnadsmaterialet.

Oftast är det svårt att få tillstånd för nyttiggörande av flygaska då det är svårt att bevisa nödvändigheten av uppfyllnaden och att flygaskan är ett lämpligt material för denna utfyllnad. Behovet kan innebära att bergrummet riskerar att rasa in om det ej uppfylls vilket i sin tur kan leda till skador på människa och djurliv samt att markytan ej går att använda. Ytterligare finns det risk att om bergrummet ej sätts igen kan de naturliga vattenströmmar riskera att dränera närliggande finkorniga jordar och då skapa sättningar[2].

6.2. Platsspecifik riskbedömning vid befintligt bergtrum

I riskbedömningen skall en rad olika faktorer bestämmas:

- Faran
- Den mottagande miljön
- De vägar avfallet kan nå biosfären
- Vilka effekter som kan uppstå om avfallet når biosfären

Eftersom lokaliseringen redan är bestämd kan inte prövningen för ett underjordsförvar ske på samma villkor som normalt görs för ett ovanjordsförvar där det oftast finns flera rimliga alternativ inom kort avstånd. De aspekter som kan tänkas läggas på vid lokaliseringen är den miljöpåverkan som kan uppkomma vid drift och efter avslutad utfyllnad.

Risikutvärderingen vid befintligt bergtrum ska innehålla följande delar för både driftfasen och efterbehandlingsfasen[8]:

- Geologisk bedömning
 - Undersökning av de geologiska förhållanden på platsen krävs vilket innefattar analys av bergarter, jordarter och topografi. Genom en geologisk bedömning är det möjligt att påvisa om området är lämpligt för underjordsförvar.
- Geomekanisk bedömning
 - Bergrummens stabilitet måste undersökas och ska även omfatta det deponerade avfallet. Undersökningen ska påvisa att det ej kommer ske några större deformationer av hålrummet eller av jordytan som skulle kunna påverka förhållandena negativt i underjordsförvaret. Det skall också påvisa att bergrummets stabilitet är tillräcklig så att det ej kollapsar under drift. Ytterligare ska det deponerade avfallet vara tillräckligt stabilt för den bergrund det förvaras i.
- Hydrogeologisk bedömning
 - En ingående undersökning av de hydrauliska förhållandena i omgivningen
- Geokemisk bedömning
 - En undersökning för att fastställa bergrunden och det omgivande vattnets kemiska sammansättning
- Bedömning av inverkan på biosfären
 - En undersökning av den biosfär som kan komma att påverkas av underjordsförvaret krävs. Genom att fastställa utgångsläget går det att se under drift om miljön påverkas.
- Bedömning av driftfasen
 - I driftfasen ska en analys innehålla prover på hålrummens stabilitet. Ytterligare får det inte finns en för hög risk för att förbindelser ska uppstå mellan avfallet och biosfären.
- Långsiktig bedömning
 - Riskbedömningen för deponin måste vara långsiktig där det ej får ske några förbindelser mellan biosfären och avfallet även efter deponin är avslutad. Underjordsförvarets tekniska och geologiska barriärer måste prövas långsiktigt med hänsyn till avfallets kvalitet, konstruktionerna i förvaret, igenfyllnaden samt förseglingar.

- Bedömning av ytanläggningarnas inverkan på lagringsplatsen
 - Trots att avfallet ska deponeras under jord kommer det ske en påverkan ovan jord vilket betyder att mottagningsanläggningarna måste vara konstruerade så att minimal skada sker på människa och miljö. Anläggningarna måste uppfylla samma krav som liknande avfallsanläggningar.

Ytterligare hör frågan om djupet på deponin till lokaliseringen. Något specifikt djup anges ej i förordningen men deponin ska vara skild från biosfären och föroreningar som kan lakas från avfallet skall förstöras på naturlig väg.

6.3. Säkerhetsprinciper

Vid underjordsdeponering av flygaska och rökgasrester består säkerheten av en kombination av naturliga och tekniska barriärer. De tekniska barriärerna kan vara som nämnt att stabilisera avfallet, i form av cementering eller liknande, samt att underjordsförvarets ytskikt tätas. De naturliga barriärerna innebär att de geologiska aspekterna begränsar att grundvattnet kan nå deponin och på så sätt fördröjer möjligheten att metallhaltiga ämnen kan nå omgivningen alternativt vattendrag. Den geologiska funktionen på berget beror på dess egenskaper, hydrologi och den rådande grundvattenkemin (vad vattnet innehåller i kemisk synpunkt) [4].

Vid upprättandet av en underjordsdeponi finns det några grundläggande principer som bör uppfyllas

- Vid ett litet läckage från deponin ska det bli ett litet tillägg till de naturligt förekommande halterna i vattnet.
- Det är av vikt att förse förvaringsutrymmen med tätande skikt med en liten vattengenomtränglighet.
- Säkerheten ska kunna upprättas genom platsspecifika säkerhetsanalyser.
- I princip ska säkerheten på deponin vara permanent eller väldigt lång tid (1000 års perspektiv)
- För att upprätta säkerheten på deponin under lång tid skall passiva system finnas som upprättar detta.
- När förvarets kapacitet är fylld skall förseglingen innebära att marken ovanför kan nyttjas.
- Lokaliseringen av deponin ska vara sådan att oavsiktligt intrång till deponin ej sker.
- Lokaliseringen ska även förenkla transporter av avfallet till deponin.

6.4. Säkerhetsanalys

Att underjordsförvaret uppfyller kravet för långsiktig säkerhet prövas med hjälp av en säkerhetsanalys, där begynnelsestillståndet undersöks och kartläggs och sedan undersöks de tänkbara förändringar som kan ske på lång sikt. Analysen beskriver konsekvenserna för människa och miljö.

Avfall som ej uppfyller mottagningskraven för t.ex. farligt avfall får ej deponeras ovan jord. Detta på grund av en hög risk att det sker en lakvattenbildning i ett långtidsperspektiv. Gränsen för hur hög lakvattenbildning det får vara är 5 l/m²/år på en ovanjordsdeponi[2]. Exponeringen av

vattenströmmar i en underjordsdeponi är oftast lägre än i en ovanjordsdeponi vid samma avfallsmängd.

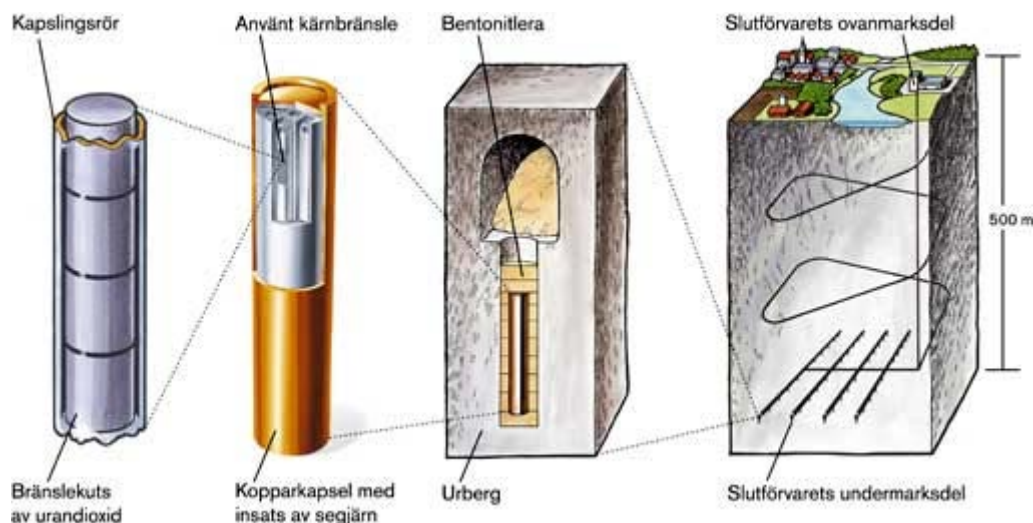
Enligt Naturvårdsverkets kvicksilverutredning bedöms vattenomsättningen vara ca 10 gånger högre i en yttlig bergdeponi jämfört med en underjordsdeponi[18].

7. Säkerhetsmetodik för kärnavfall

Sverige har producerat el med hjälp av kärnkraft i snart 40 år och det är SKB som har till uppgift att kärnavfallet tas hand om på ett korrekt sätt. Möjligheterna finns för att koppla samman de säkerhetsanalyser och metodik som finns för kärnavfall till de underjordsförvar som kan tänkas planeras för flygaska och annat farligt avfall. SKB har byggt upp ett system för att ta hand om de olika typer av radioaktivt avfall som produceras. Systemet inkluderar transport av avfallet, ett slutförvar och ett mellanlager.

7.1. KBS-3-metoden

SKB arbetar enligt en metod som bygger på att det använda kärnbränslet skyddas av tre olika barriärer enligt figur .



Figur 6 KBS-3-metoden [10]

Avfallet kapslas först in i en kopparkapsel och de täta kapslarna lagras sedan i urberget inbäddade i bentonitlera på ca 500 meters djup[10].

7.2. Låg-/medel aktivt kärnavfall

I mer än 20 år har det underjordiska förvaret för låg- och medelaktiva driftavfallet varit i drift på Forsmark som ägs av SKB och sköts av Forsmarks Kraftgrupp AB. Varje år tas ca 1000 m³ låg- och medelaktivt kärnavfall från svenska kärnkraftverk men även från industri och sjukvård. Där kommer även avfallet från eventuella rivningar av kärnkraftverk hamna. Enligt undersökningar på Forsmark har berget visat goda egenskaper gällande vattengenomströmning med få sprickor och en torr geologi.

7.3. Platsundersökning för högaktivt kärnavfall

SKB:s platsundersökningar är till för att analysera om att de krav och önskemål på bergets kvalité uppfylls. Dess huvudprodukt efter undersökningarna är en platsbeskrivning som presenterar en sammansatt beskrivning av det naturliga tillståndet och de processer som pågår i både geosfär och biosfär. Platsundersökningen inkluderar även de ytnära ekosystem och markförhållanden för ovanjordsanläggningar såsom tillfartstunnlar. Undersökningarna beskriver en analys av biosfären och geosfären där all insamlad data och parametrar för platsen redovisas.

Eftersom platsundersökningen är så omfattande krävs indelning i etapper för att kunna hantera alla analyser och undersökningar.

I SKB:s rapport[9] beskrivs den första etappen (inledande etapp) där dessa områden skall undersökas:

- Ge ett underlag för förståelse av berget och de ytnära ekosystemen i regional skala
- Ge underlag för en prioriterad plats för fortsatta undersökningar
- Med hjälp av djupundersökningar i ett begränsat antal borrhål på prioriterad plats ta fram information som gör det möjligt att bedöma om den prioriterade platsen är lämplig för kompletterande undersökningar

Visar den första etappen att platsen för underjordsförvar är lämplig skall en andra etapp (komplett etapp) påbörjas för att komplettera ytterligare. Den etappen syftar enligt SKB:s rapport att:

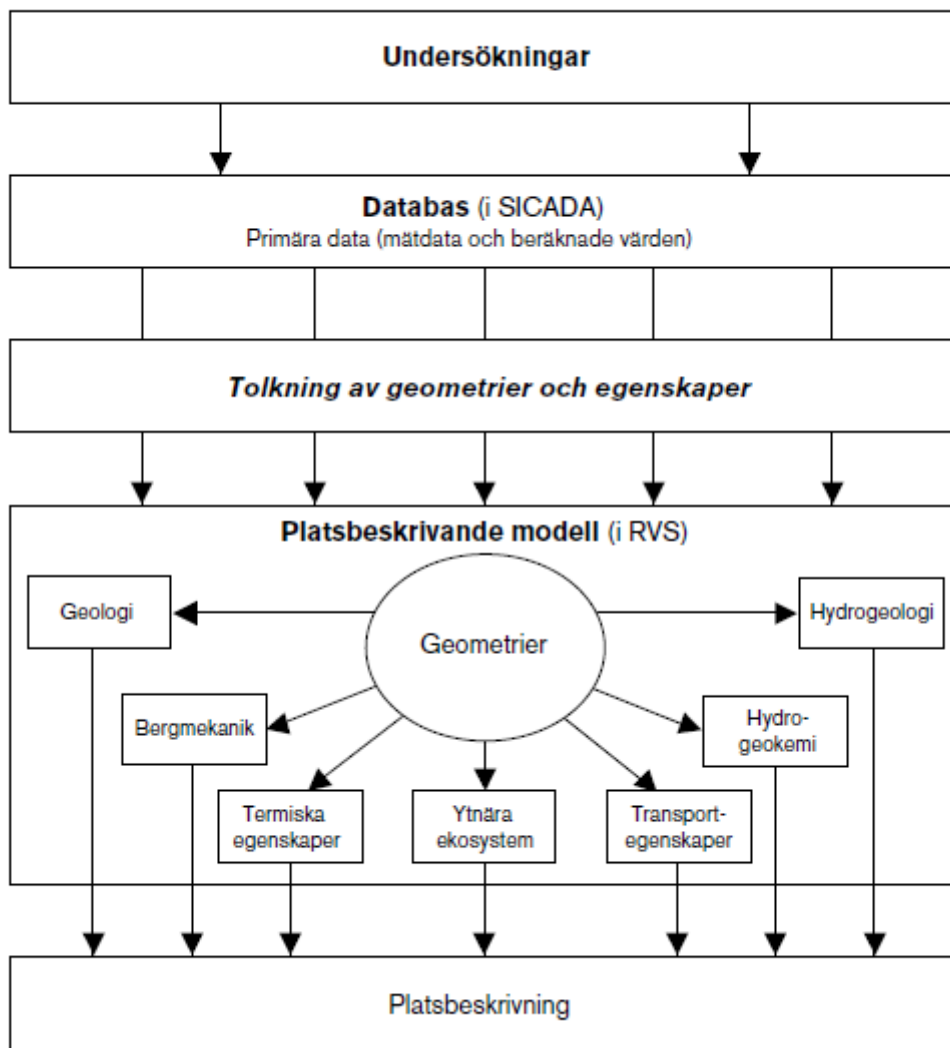
- Fullborda den geovetenskapliga karakteriseringen av den prioriterade platsen och dess omgivning så att, om platsen befinns vara lämplig, projektering och säkerhetsanalys kan ta fram det underlag som krävs för en lokaliseringsansökan,
- Sammanställa och presentera all information i platsspecifika databaser och beskrivande modeller om platsens geosfär- och biosfärförhållanden.

När en plats är vald ska ytterligare undersökningar genomföras på ett antal referenspunkter i omgivningen där borrhål tas. Under denna fas undersöks de geologiska, bergmekaniska, hydrogeologiska och hydrogeokemiska egenskaperna.

De geologiska undersökningarna syftar på att undersöka om det finns sprickor och sprickzoner. För de bergmekaniska undersökningarna analyserar man bland annat bergmassans kvalité, om det är några större temperaturgradienter inom förvarsområdet samt om det finns några stabilitetsproblem. De hydrogeologiska undersökningarna genomförs för att testa bergets vattenförande egenskaper på ned till 1000 m djup. Det testas genom pump och flödestester.

Ytterligare undersöker man de hydrogeokemiska egenskaperna där vattnets sammansättning beträffande mineraler och dylikt.

I figur 7 så illustreras en enkel modell för hur hela processen går till vid en platsundersökning och hur den insamlade data hanteras.



Figur 7 System för platsundersökningen [9]

Resultatet av de utförda mätningarna analyseras och tolkas för att sedan kunna etablera en beskrivning av den tänkta platsen för senare projektering och säkerhetsanalys. Primärdata (parametervärden för enskilda punkter eller begränsade mätobjekt) som samlas in lagras i SKB:s databas vid namn SICADA. Sedan analyseras den insamlade och lagrade primärdata ämnes specifikt och integrerat över ämnesområden. Detta görs för att kunna dela in platsen i geometriska enheter som underlättar att hantera ämnes specifika egenskaper för de geometriska enheterna.

Syftet med den platsspecifika modellens indelning i olika geometriska enheter är att på ett enkelt sätt kunna redogöra för variationen. De geometriska enheterna utgår från den tolkade geometrin för sprickzoner och jord- och bergartsfördelning samt en del hydrogeologisk data.

7.3.1. Underjordsförvarets storlek

Underjordsförvarets yta för kärnbränsle är enligt SKB i idealt fall cirka 2 km², detta utan ovanjordsanläggningar då denna yta är beroende på hur transportsituationen ner till förvaret ser ut,

dvs om det är en rak ramp, schakt eller spiralramp som används. Undersökningsområdet bör dock vara mycket större för att möjliggöra alternativa placeringar på förvaret och försöka komma fram till den optimala placeringen. Denna yta bör omfatta 5-10 km².

Modellen för placeringen måste även beakta djupet som förvaret skall ligga på. Ett godtycklig djup på förvaret är ungefär 500 m men kan sträcka sig ända ner till 1000m.

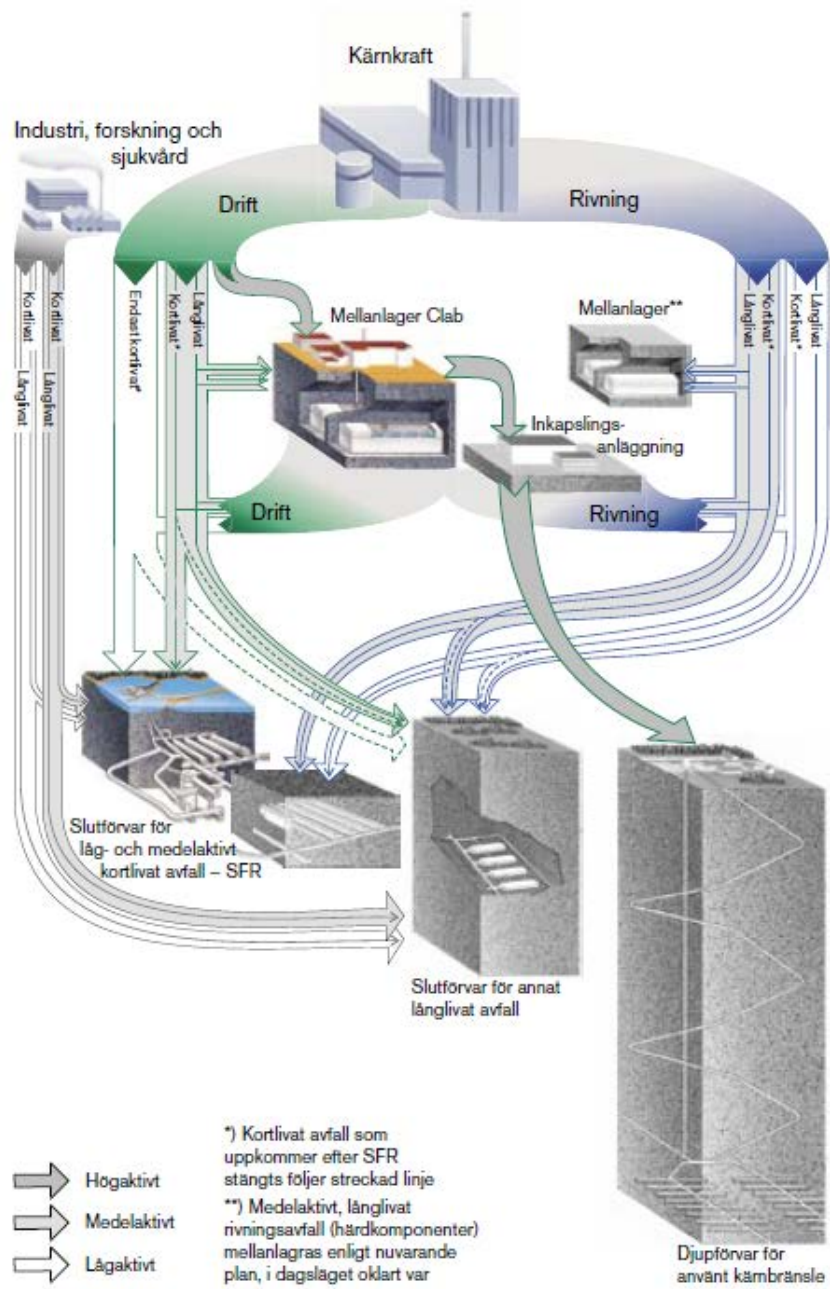
7.3.2. Barriärer för använt kärnbränsle

När det gäller kärnavfall är kapseln den viktigaste barriären för att isolera avfallet. Den skall motstå korrosion och mekaniska belastningar. Utöver kapseln finns det även en buffert på plats för att fördröja en eventuell spridning av radionuklider. När förvaringen är slutförd skall bergrummen återfyllas med vatten för att skydda mot vattenflöde genom tunnlarna. Många studier har genomförts av SKB för att undersöka hur kapslarna och bufferten påverkas av en återfyllning av vatten. Nästa steg i barriärerna är den naturliga barriären, geosfären. Det har utvecklats modeller för att beskriva hur berget runt förvaret rör sig vid en eventuell jordbävning och det har även utvecklats modeller för att beskriva hur grundvattnet rör sig och hur dess kemi ser ut.

I Figur 5 är en enkel illustration över hur hela hanteringssystemet ser ut för både hög och lågaktivt kärnavfall.

7.4. Geosfär

Djupförvaret ska placeras i en kristallin berggrund med granitisk sammansättning. Efter att förvaret har upprättats har de naturliga flödena av grundvatten och dess tryck påverkats av dräneringen. Hur stor påverkan blir på geosfären beror på flera olika faktorer såsom hur lång tid förvaret dränerats.



Figur 8 Det fullständiga systemet för hantering av kärnavfall, utvecklat av SKB [10]

7.5. Återfyllning av underjordsförvar av kärnbränsle

Anledningen till att underjordsförvaret ska återfyllas är för att se till att bergets naturliga barriärfunktion ej begränsas. Det finns dock vissa krav vid återfyllningen som är att deponeringstunnlarna ska ha samma hydrauliska konduktivitet som är jämförbar med den omgivande bergrunden. Återfyllningstekniken skall väljas så minsta påverkan åstadkoms på omgivande miljö och de barriärerna i förvaret.

7.6. Säkerhetsanalys

Den långsiktiga säkerheten för ett underjordsförvar av kärnbränsle analyseras med säkerhetsanalys där en rad olika forskningsområden skall tas upp. Det viktigaste att ta reda på i första skedet av upprättandet är hur begynnelsestillståndet av området ser ut och sedan kartlägga undersöka vilka tänkbara förändringar som kan ske i omgivningen. Konsekvenserna som kan ske för människa och miljö är också viktiga och hur ekosystemen kan påverkas. Analysen bygger på en vetenskaplig metodik och kunskaperna hämtas från långsiktiga förändringar i forskningen.

Enligt SKB kan säkerhetsanalysen delas upp i tre olika forskningsområden [10].

- Långsiktig säkerhet
- Samhällsvetenskap
- Alternativa metoder

Det som ägnas mest uppmärksamhet är åt den långsiktiga säkerheten. De andra två kommer ej behandlas i denna rapport.

Det finns även forskning som behandlar de låg- och medelaktiva avfall som produceras och måste tas hand om.

De två viktigaste säkerhetsanalys projekten är SR-Can och SR-Site som har till syfte att producera säkerhetsanalyser som sedan kan användas till ansökan om upprättande av underjordsförvar och inkapslingsanläggning.

Metodik som SKB använder har resultaten från säkerhetsanalysen SR 97/SKB 1999a som grund och i grunden består säkerhetsanalysen av[19]:

- Att beskriva förvaret tillstånd vid ett initialt tillstånd (när den konstruerades)
- Undersöka de förändringar som förvaret kan tänkas genomgå på grund av inre processer och yttre påverkan (naturpåverkan t.ex.)
- Utvärdera vad konsekvenserna för förändringen har på den långsiktiga säkerheten.

Säkerhetsanalysen behöver många modeller för beräkningar av grundvattenflöde, buffertens kemiska utveckling och inlandsisars utveckling med mera och dessa tas fram genom forskningsområdena geosfär, buffertar, klimat osv.

Målet med forskningen är att erhålla en förståelse för hur de processer som sker naturligt påverkar underjordsförvarets förmåga att isolera det farliga avfallet.

8. Ekonomiska aspekter

För att hantera flygaskan i Sverige som produceras utan att exportera en allt för stor del finns två alternativ. Det ena är att bygga helt nya underjordsförvar och det andra alternativet är att preparera de bergrum som redan finns (oljelagringsrum, gruvor etc.). Räknat på att det produceras ca 80 000 ton TS flygaska per år och densiteten på flygaska är 1,6 ton/m³ krävs det en yta på 50 000 m³/år för att täcka upp det deponibehov som finns. Denna siffra bör öka i framtiden eftersom kurvan går uppåt för hur mycket aska vi producerar i Sverige. Det finns givetvis alternativet att exportera en del men det är rimligt att vi tar hand om en större del av vårt avfall själva.

8.1. Nytt underjordsförvar

För att konstruera ett nytt underjordsförvar tillkommer en rad kostnader runtomkring självaste konstruktionen. Det krävs förundersökningar, liksom de som finns för byggandet av kärnbränsleförvar, projektering av uppdragen och även en del anskaffningskostnader. Utsprängningskostnaden beror på vilken bergart det är, det är dock möjligt att undvika en ej passande bergart genom en väl utförd förundersökning. För att spränga ut berg räknas vanligen en kostnad på 500 kr/m³ fast berg. En rimlig storlek på ett nytt underjordsförvar bör vara ca 600 000 m³ för att möjliggöra en deponering under ett längre perspektiv. Därmed blir utsprängningskostnaden ca 300 Mkr. På detta tillkommer kostnader för konstruktion av ventilation, schakt, transportramper, borrhål för ventilation och nedpumpning av avfallet som kan grovt uppgå till 40 Mkr. Till sist så tillkommer kostnader för transport, kontroll och skyddsåtgärder som kan krävas under drift som kan uppgå till ca 25 Mkr. Totalt skulle alltså en inte helt orimlig kostnad för ett nytt underjordsförvar på 600 000 m³ bli 365 Mkr grovt räknat. Kostnaden per kubik blir då 608 kr/m³.

Fördelen med att konstruera ett nytt är dock att det går att bestämma lokaliseringen och på så sätt göra besparingar i form av transport till och från förbränningsanläggning.

8.2. Befintligt bergrum, preparering för underjordsförvar

Att ta ett redan befintligt bergrum och preparera det för underjordsförvar är ett alternativ som de flesta myndigheter är ense om att det är det mest kostnadseffektiva. På Händelöverket i Norrköping preparerades och sanerades bergrummen som tidigare användes för oljelagring vilket i nuläget ej är aktuellt. Totalt är det 9 st bergrum med en volym mellan 100 000-160 000 m³ där 5 av dem är i bruk i dagsläget (2012) medan 4 fortfarande ej används men planeras att sättas i bruk i framtiden. Det som behöver förberedas är borrning av ventilationshål och hål för inmatning av flygaska annat farligt avfall. I Händelöverket sker inmatningen helt tätt vilket innebär att de ej behöver preparera askan t.ex. cementering), detta minskar också volymen som krävs då avfallet tar mindre plats.

Kostnaden för att preparera ett bergrum uppgår till summan av ca 5-7 Mkr/bergum på Händelöverket. De största kostnaderna är att ventileras bergrummen och konstruera skyddslarm. Den totala volymen som bergrummen i Händelöverket har är ca 1 200 000 m³ och summan att sanera/preparera dessa rum är grovt räknat på ca 54 Mkr och kostnaden per kubik blir då 45 kr/m³[16].

9. Slutsats

Den mängd avfall i form av flygaska kommer ej avta i framtiden utan förmodligen öka vilket också ökar trycket på hantering av flygaskan. I de fall där flygaskan är tillräckligt ofarlig är det ett bra alternativ att återanvända den som en resurs vid till exempel täckning av deponier. Detta är dock oftast normalfallet vid den flygaska som uppkommer vid förbränning av avfall. Med åtanke på att exportering till LangØya i Norge ej är ett hållbart alternativ i framtiden, då denna deponi beräknas vara uppfylld 2023-2025, krävs det fler underjordsförvar i Sverige. Frågan är då om det ska konstrueras nya underjordsförvar eller om de befintliga förvar kan prepareras för rätt ändamål.

Ur ett ekonomiskt perspektiv är det självklara alternativet att anlägga underjordsförvaret i ett befintligt bergtrum, såsom det har gjorts i Händelöverket, då kostnaderna är avsevärt lägre. Kostnaden för att konstruera ett nytt underjordsförvar kan uppgå till 608 kr/m³ medans rehabiliteringen av ett befintligt oljelagringsrum kostar ungefär 45 kr/m³. Fallet med Händelöverket är dock ett idealt läge då denna deponi ligger så pass nära själva förbränningsprocessen att transporten ej blir en särskilt stor kostnad. Detta är givetvis inte alltid fallet med andra tänkbara anläggningar.

Vid nykonstruktion kan lokaliseringen (som är av högsta betydelse) bestämmas helt och hållet och möjligheten att placera förvaret i närheten till förbränningsprocessen blir möjlig. Det är även fördelaktigt att placera förvaret i närheten av havet då saltutlakningen ej blir särskilt påverkande.

Tanken med alla underjordsförvar är att det skall ske en långsam kontrollerad utlakning av föroreningarna så att naturen kan ta hand om dessa. I långt perspektiv talar man om flera tusen år. För att upprätthålla detta krävs det att förvaren skall fungera även vid bortfall av elektricitet.

Säkerhetsmetodikerna som utvecklats för underjordsförvar av kärnavfall kan med fördel anpassas till underjordsförvar av flygaska. Givetvis är säkerhetskraven ej på samma nivå som för kärnbränsle. Det finns kanske fler likheter med de förvar som finns för låg- och medelaktivt kärnavfall och genom att studera hur dessa har konstruerats så kan byggnationen av nya underjordsförvar för flygaska och farligt avfall anpassas.

Referenser

1. *General information about NOAH Langøya*, besökt 2012-02-20, Tillgänglig: <http://www.noah.no/OmNOAH/NOAHinenglish/tabid/946/Default.aspx>
2. *Avfall Sverige, Rapport F2009;05 Deponering eller utfyllnad av bergrum med RGR*, ISSN 1103-4092
3. *Birgitta Strömberg, Svensk Fjärrvärme, Rening av flygaska, Forskning och utveckling TPS 2004:7*, ISSN 1401-9264
4. *Statens offentliga utredningar, Att slutförvara långlivat farligt avfall i undermarksdeponi i berg, SOU 2008:19*, Stockholm 2008, ISSN 0375-250X
5. *Lycksele kommun, Fakta om avfallsförbränning*, Tillgänglig: <http://www.lycksele.se/templates/Page.aspx?id=9727>
6. *Statens geologiska institut, Kritiska deponiavfall, VARIA 555*, Linköping 2005, ISSN 1100-6692
7. *Energiaskor, RGR till Langøya och saltgruvor*, 2010, Tillgänglig: <http://www.energiaskor.se/pdf-dokument/PM%20RGR%20till%20Langya%20och%20saltgruvor.docx.doc.pdf>
8. *Europeiska Unionens Råd, 2003/33/EG*, Tillgänglig: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003D0033:SV:HTML>
9. *SKB, Platsundersökningar Undersökningsmetoder och generellt genomförandeprogram, R-01-10*, ISSN 1402-3091, 2001
10. *SKB, Fud-program 2004*, Tillgänglig: <http://www.skb.se/upload/publications/pdf/Fud2004webb.pdf>
11. *Lagen.nu, MÖD 2010:29, målnummer: M3131-09*, Avgörandedatum: 2010-08-27, Tillgänglig: <https://lagen.nu/dom/mod/2010:29>
12. *Svenska Energiaskor AB, Aska från energiproduktion – producerad och använd mängd aska i Sverige 2006*, Caroline Engfeldt, 2007-10-16, Tillgänglig: <http://www.energiaskor.se/pdf-dokument/overgripande%20rapporter/Aska%202006%20SvEA.pdf>
13. *Svenska Energiaskor AB, Askor i Sverige 2010*, Utförd av Tyréns på uppdrag av Svenska Energiaskor, Tillgänglig: http://www.energiaskor.se/pdf-dokument/Askor_i_Sverige_2010.pdf

14. SIG NU 1-2004, Tillgänglig: <http://public.swedgeo.se/upload/Publikationer/SGINU/pdf/SGINU1-2004.pdf>
15. Kontakt med Henrik Johansson, EON, regionschef, telefonnummer: 0730499321
16. Kontakt med Jonas Lindh, EON, Ansvarig produktion, telefonnummer: 0730499288
17. Växjö Tingsrätt, Miljödomstolen, Dom i mål 552-07, 2008-03-07
18. Naturvårdsverket, *Utsläpp av kvicksilver från slutförvar*, Södergren, S., Höglund, L. O., Birgersson, L. och Pers, K. (1997), Rapport 4771.
19. SKB, *SR-97 – Säkerheten efter förslutning*, 1999, tillgänglig: <http://www.skb.se/upload/publications/pdf/SR97Del1webb.pdf>