



Forskning och  
Utveckling

FOU 2003:84

# ANVÄNDNING AV ASKA VID FÖRLÄGGNING AV FJÄRRVÄRMELEDNINGAR – FÖRSTUDIE

*Rolf Sjöblom, Tekedo AB*

# **ANVÄNDNING AV ASKA VID FÖRLÄGGNING AV FJÄRRVÄRME- LEDNINGAR - FÖRSTUDIE**

*Rolf Sjöblom, Tekedo AB*

*I rapportserien publicerar projektledaren resultaten från sitt projekt. Publiceringen innebär inte att Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB tagit ställning till slutsatserna och resultaten.*

# Sammanfattning

Vid förläggning av fjärrvärmeledningar kan det i vissa fall vara fördelaktigt att använda annat jordmaterial än det befintliga för kringfyllnad. Ett sådant alternativ kan vara aska från förbränning av träbaserade bränslen. För att ta fram en teknik för detta kan ett utvecklingsarbete i tre steg föreslås: förstudie, huvudstudie och framställning av en användarhandbok. Det arbete som redovisas i denna rapport avser förstudien.

Egenskaperna hos aska är i hög grad beroende av val av bränsle, förbränningsprocess och uttagspunkt samt åldrings- och mognadsprocesser som äger rum i askan när den kontaktats med vatten och luft. Slutsatsen från genomgången är att det är möjligt för askanvändaren att välja askkvalitet samt behandling av askan med hänsyn till funktionskrav avseende miljö och geoteknik.

Historiskt har miljöaspekter och myndighetsfrågor utgjort det kanske största hindret mot användning av aska utanför deponi. Samtidigt betonar EU-lagstiftningen liksom den svenska miljöbalken vikten av återvinning och återanvändning. I rapporten redovisas arbetsgången ur miljöredovisningssynpunkt dels vid eldning med rena biobränslen, dels vid så kallad samförbränning. I det senare fallet måste särskilda analyser göras över askans föroreningspotential.

En avsevärd svårighet i miljö- och tillståndsarbetet är att erforderlig konkretisering i väsentlig utsträckning saknas i de myndighetsregler som finns för närvarande. Därför redovisas i rapporten hur miljöaspekterna kan analyseras och bedömas utifrån olika dokument och perspektiv: EU-lagstiftningen, miljöbalken, avfallsförordningen, förordningen om deponering av avfall, förordningen om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd, EU-förslag till gränsvärden för avfall, SNV:s rekommendationer om förorenad mark, SNV:s rekommendationer om sjöar och vattendrag samt om grundvatten, samt Skogsstyrelsens föreskrifter om askåterföring.

I rapporten redovisas utformning och arbetsgång för ledningsförläggning, och interaktionen mellan ledning och jordmaterial analyseras i viss detalj. Slutsatsen är att aska som behandlats på lämpligt sätt antagligen har likartade egenskaper av betydelse jämfört med traditionella jordmaterial med undantag av komprimerbarheten som är betydligt högre. Detta innebär att man bör vara vaksam på att packning, marktryck, friktion och så vidare verkligen fungerar på önskat sätt.

För kringfyllnad med aska redovisas funktionskrav vilka framförallt avser frågor kring miljö och hälsa samt huruvida fjärrvärmeledningen kan påverkas i någon grad av betydelse (för uppfyllandet av funktionskraven).

Dessa ligger sedan till grund för en redogörelse för hur ett hypotetisk "kringfyllningsprojekt" skulle kunna gå till, inklusive systemutformning, val samt hantering och behandling av aska, miljökvalificering och geoteknisk dimensionering

och utförande. Tilltänkta behandlingssteg för askan innefattar lagring utomhus i kontakt med väder och vind samt siktning, vindsiktning och blandning/homogenisering. I samband med den sistnämnda operationen finns möjlighet att låta även annat material än aska ingå.

De huvudsakliga slutsatserna är som följer:

- Inga tekniskt eller juridiskt diskriminerande faktorer har påträffats eller kunnat identifieras under denna förstudie
- Kvarstående osäkerheter beträffande tillämplighet avser i första hand följande:
  - distributionspersonals tveksamheter kring ett för dem nytt och okänt material
  - mognadsprocessen och den behandlade askans kompakterings- och friktionsegenskaper i förhållande till tänkbara förläggningssätt
  - komplexiteten med avseende på miljöbedömning
  - perceptuella aspekter (d v s om den aktuella tillämpningen upplevs av omvärlden som mindre lämplig eller passande)
- Den utförda studien pekar på att
  - aska kan ha/ges egenskaper som är lämpliga för kringfyllnad kring fjärrvärmeledningar
  - kringfyllning med aska kring fjärrvärmerör kan tänkas utgöra en god förebild för askanvändning
- Askor har starkt varierande egenskaper. Det bör därför finnas goda möjligheter att hitta askor med lämpliga egenskaper för varje enskilt fall.
- Askmaterial som skall användas för kringfyllnad bör kvalitetssäkras till definierade materialegenskaper, bl a homogenitet.
- Det kan vara svårt att i förväg förutsäga lagnings- och miljöegenskaperna samt vissa jordmekaniska parametrar. För att hantera detta krävs en god planering samt en god beredskap i materialhantering och materialanvändning.
- Kringfyllnad med aska kan tänkas innebära fördelar genom att påkänningarna vid rörböjar kan bli lägre och därmed också risken för skador där.
- Kringfyllnad med askmaterial ger sannolikt en mycket större likformighet i förläggningen längs med ledningen.
- Den för kringfyllnad med aska nödvändiga materialhanteringen innebär goda möjligheter till optimering av utförandet.

# Summary

When district heat piping is to be installed it is sometimes advantageous to use some other soil material than the naturally occurring one. Ash from combustion of wood-based fuel may constitute such an alternative. In order to identify the technology needed development work in three steps may be warranted: pre-study, main study and the compilation of a user's handbook. It is the work conducted and the results obtained in the pre-study which are documented in the present report.

The properties of the ash are largely dependent on the choice of fuel, the combustion process, point of exit and the ageing and maturing processes which take place in the ash when it is contacted with water and air. The conclusion from the compilation and analysis carried out is that it is possible for the user to choose quality of ash and to handle the ash in accordance with the functional requirements on environment and geotechnology.

Historically, environmental aspects and regulation issues have constituted the perhaps largest obstacle against utilisation of ash outside a disposal facility. At the same time, The EU legislation as well as the Swedish Environmental Code emphasise the importance of reuse and recirculation. In the report, the steps needed for describing the environmental impact are presented for combustion of virgin fuel as well as for recycled wood-based fuel. In the latter case, special analyses are required regarding the potential for environmental impact.

Considerable difficulties exist in the environment and permission related work as a result of lack of detail in the present regulation. Therefore, it is accounted for in the report how the environmental impact can be analysed and assessed from the aspects of different relevant documents and regulations: the EU-legislation, the Swedish Environmental Code and a few domestic regulations and recommendations issued by different Government Authorities.

In the report, the schemes for installation of district heating piping are described and the interaction between the pipe system and the soil are analysed in some detail. The conclusion is that ash which has been handled pertinently may have properties which resemble those of traditional soil material with one exception: the compressibility is considerably larger. The implication of this is that one should be observant with regard to packing, soil pressure, friction etc so that the system piping – soil behaves in a desirable manner.

Functional requirements on ash intended for filling around pipes installed in soil are presented. They relate mainly to environment and health issues together with geotechnical issues related to the integrity of the piping system.

The functional requirements form the basis for an account of how a hypothetical pilot project might be carried out, including system design, choice of ash quality as well as handling and treatment of ash, environmental qualification, and geotechnical

dimensioning and construction work. The handling and treatment steps for the ash include outdoor storage, sieving, aspiration, mixing and homogenisation. The latter step allows for addition of some other material, if desired.

The main conclusions are as follows:

- No technical or legal discriminating factors have been identified during the present pre-study
- The remaining uncertainties regarding the applicability include primarily the following
  - perceptual issues including uncertainty with regard to utilisation of a new material with little experience behind
  - the ageing and maturation process and the compaction and friction properties of the ash in relation to the anticipated pipe burial procedures
  - the complexity regarding the environmental assessment
  - perceptual aspects (i.e. if the proposed utilisation would be perceived as less suitable or less appropriate)
- The study carried out indicates the following:
  - Ash has – or may be given – properties which are suitable for filling around piping
  - use as a filling material may constitute a good example which could make way for other applications
- The properties of ash show large variations. Therefore, there ought to be good opportunities to find ash which is suitable in each specific case.
- Ash material intended for filling around pipe should be quality assured with regard to pertinently defined material's properties, i.e. homogeneity.
- It may be difficult to predict the leaching and environmental properties as well as the geotechnical properties prior to the ageing process. In order to counteract this, a good planning and preparedness in the material handling is required.
- Filling with ash may be advantageous in that the stresses on the pipe bends may be smaller and consequently also the risk for damage.
- Filling with ash will probably give rise to a much higher degree of conformity of the piping installation along the pipe.
- The handling of material needed in conjunction with ash utilisation implies that there will be ample opportunities for various optimisations.

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>ii</b>
<b>Summary</b> .....	<b>iv</b>
<b>Innehållsförteckning</b> .....	<b>vi</b>
<b>1BAKGRUND</b> .....	<b>1</b>
1.1 Kringfyllnad .....	1
1.2 Aska .....	2
1.3 Tillämpning.....	3
<b>2SYFTE OCH UPPLÄGGNING</b> .....	<b>5</b>
2.1 Syfte .....	5
2.1.1 Projektet som helhet .....	5
2.1.2 Förstudien .....	5
2.2 Uppläggnig av arbetet.....	6
<b>3INFORMATION FRÅN DELTAGANDE FÖRETAG</b> .....	<b>7</b>
3.1 Händelöverket i Norrköping.....	7
3.2 Jönköping Energi .....	7
3.3 Tekniska verken i Linköping.....	8
3.4 Sydkraft Mälardalen Värme AB i Örebro .....	9
3.5 Igelstaverket i Södertälje .....	9
<b>4ASKOR</b> .....	<b>11</b>
4.1 Träbaserade bränslen m m .....	11
4.2 Förbränningsanläggningar .....	12
4.3 Bildning och fördelning av ämnen under förbränningsprocessen.....	12
4.4 Äldnings- och mognadsreaktioner .....	13
4.4.1 Förhållande till vatten.....	13
4.4.2 Förhållande till luft.....	13
4.4.3 Härdningsreaktioner .....	14
4.5 Hantering och egenskaper.....	14
<b>5MILJÖASPEKTER</b> .....	<b>16</b>
5.1 Inledning.....	16
5.2 Övergripande lagstiftning .....	17
5.3 Avfallsförordningen och förordningen om deponering av avfall.....	19
5.4 Gränsvärden för avfall.....	21
5.5 Naturvårdsverkets rekommendationer om förorenad mark .....	23
5.6 Naturvårdsverkets rekommendationer om sjöar och vattendrag samt om grundvatten .....	24
5.7 Skogsstyrelsens föreskrifter om askåterföring .....	26
5.8 Miljöredovisning .....	26
<b>6GEOTEKNISKA FRÅGOR</b> .....	<b>29</b>
6.1 Inledning.....	29
6.2 Utformning av ledningsförläggning .....	29
6.3 Jordmaterial och jordmekanik.....	31
6.4 Mekanisk växelverkan med omgivande mark utan temperatureffekter.....	33
6.5 Mekanisk växelverkan med omgivande mark - temperatureffekter .....	35
6.6 Diskussion och slutsatser .....	37



<b>7DISKUSSION OCH SLUTSATSER .....</b>	<b>39</b>
<b>7.1 Funktionskrav .....</b>	<b>39</b>
<b>7.2 Möjligheter till tillämpningar .....</b>	<b>40</b>
7.2.1 Systemutformning .....	40
7.2.2 Aska .....	41
7.2.3 Miljökvalificering .....	42
7.2.4 Geoteknik .....	43
7.2.5 Distributionspersonalens synpunkter .....	44
<b>7.3 Slutsatser .....</b>	<b>44</b>
<b>7.4 Rekommendationer .....</b>	<b>47</b>
<b>8REFERENSER .....</b>	<b>49</b>

# 1 BAKGRUND

## 1.1 Kringfyllnad

För distribution av fjärrvärme krävs system med en mycket hög grad av tillförlitlighet under mycket lång tid. Detta handlar dels om leveranssäkerhet till kunder, dels om att ingrepp och åtgärder ofta kräver lokalisering av skada och grävning. Detta innebär dels påtagliga kostnader, dels störningar i form av avstängningar av gator o s v.

Tillförlitligheten kan sägas bero av följande tre delsystem:

- de komponenter som används,
- skarvningen och
- förläggningen

Förläggningen skall utföras så att ledningen

- inte rör sig i förhållande till omgivande jordmaterial<sup>1</sup>
- inte skadas av förekommande påkänningar från omgivande jord
- inte skadas av påkänningar i en punkt från spetsigt föremål (t ex en större sten)

Dessa krav skall vara uppfyllda även i samband med förekommande temperaturväxlingar, ändringar i grundvattennivå, grundvattenflöde, fordonstrafik m m.

Branschen strävar efter att minimera behovet av nya fyllnadsmassor från grustäkter mm och att minimera behovet av transporter. Grundalternativet är därför att det i de flesta fall torde vara attraktivast att använda befintligt material för återfyllnad. Det finns på plats, och finns även i rätt mängd för att en jämn yta skall erhållas efter det att materialet sjunkit samman. Det finns i dag också mobil maskinutrustning med vars hjälp befintligt material kan uppgraderas (t ex med hjälp av siktskopa).

Befintliga material kan emellertid innebära vissa nackdelar, och då vara oanvändbara. De kanske inte har sådana dränerande egenskaper som erfordras. Naturligtvis bör även överstora stenar och dylikt grovsållas bort. Därmed är risken för sprickor i manteln, p g a anliggande stenar undanröjd, vid normal förläggning, och utnyttjande av befintliga massor.

Andra nackdelar med befintligt jordmaterial är att det kan innehålla mindre lämpligt material som ger otillräcklig friktion mot ytterröret, t ex lermaterial (jfr avsnitt 6). Vidare kan egenskaperna variera, vilket i vissa fall kan leda till större påkänningar, t ex genom att ytterröret är förankrat till omgivande jord i vissa avsnitt men inte i andra.

---

<sup>1</sup> Med ”jord” avses i denna rapport motsatsen till berg, d v s material som efter nedsänkning i vatten inte har någon större skjuvhållfasthet

Ibland väljer man därför att byta ut det befintliga jordmaterialet, åtminstone närmast röret, mot ett väldefinierat jordmaterial med lämpliga egenskaper (t ex sand eller grus). Detta innebär emellertid kostnader för material och transporter. Kring våra största tätorter finns i dag knappast naturliga jordmaterial att tillgå för dessa ändamål utan man är i stället hänvisad till bergtäkter samt krossning och siktning. Denna rapport fokuserar mot användning av askprodukter som ersättning för sådant tillfört sand och grusmaterial. Detta synsätt innebär också att en tydlig rågång upprättas gentemot ”förtäckt deponering”, d v s att man gör sig kvitt askmaterial med huvudsyfte att undvika deponeringsskatt.

Typ av mark som fjärrvärmeledningen läggs i har säkert även stor betydelse för acceptansen av att nyttja askor som fyllnadsmaterial. Inne i städer är marken redan påverkad av trafikens miljöpåverkan. För ledningar genom grönområden i ytterområden och mellan tätorter är situationen en helt annan.

## 1.2 Aska

Enligt Skogsstyrelsen [31] bör kompensationsgödsling<sup>2</sup> i första hand ske genom tillförsel av askprodukter från skogsbränslen. Detta är utgångspunkten i denna rapport, även om det i dag endast är en mindre del av den aska som genereras som också återförs.

Huvudalternativet är naturligtvis att branschen strävar efter att i så stor utsträckning som möjligt återföra askor till skogsmarken. Av olika skäl kan det emellertid i vissa fall vara lämpligt att överväga andra destinationer för askan[68]. Detta är särskilt angeläget mot bakgrund av att huvuddelen av askan i dag läggs på deponi. Naturligtvis är olika typer av askfraktioner lämpliga eller olämpliga för askåterföring, som t ex flygaska, bottenaska från rosterpannor och sandblandad aska från fluidiserade bäddar.

För att lämpligaste alternativet skall kunna identifieras för varje typ av aska behöver de olika alternativen belysas. Som exempel kan nämnas sand från fluidiserande bäddar. Detta material har ett lågt innehåll av näringsämnen och gör därför inte någon stor nytta om man skulle lägga det på skogsmark. Däremot kan det tänkas ha goda miljömässiga och geotekniska egenskaper vilket gör det lämpligt för användning som kringfyllnad kring fjärrvärmerör.

Antalet undersökningar avseende geoteknisk användning av träbränslebaserad aska är litet. Ett mycket större underlagsmaterial – från Sverige och utlandet – föreligger när det gäller avfallsaskor. Resultaten indikerar att bottenaska efter åldring och fraktionering – s k bottenlagg – är lämplig för många geotekniska ändamål. Detta gäller även användande i vägbankar. Här är dock kompressibiliteten högre än för jordmaterial av kristallint berg med motsvarande gradering, t ex grus och sand.

---

<sup>2</sup> Med kompensationsgödsling avses sådan tillförsel av näringsämnen som avser att kompensera dem som finns det timmer och den ved som tagits ut ur skogen.

Däremot har flygaska från avfallsförbränning inte kommit till användning i geotekniska sammanhang. Det främsta skälet för detta är innehållet av miljöstörande ämnen. Det är också tänkbart att bärigheten blir lägre vilket också begränsar antalet tillämpningar.

Det föreligger emellertid ganska stora skillnader i kemisk sammansättning mellan bottenaska från avfallsförbränning och träbränslebaserade askor. Det är därför vanskligt att dra några mera precisa slutsatser för träbränslebaserade askor utgående från sådana analogier.

Egenskaperna hos träbränslebaserade askor varierar kraftigt beroende på val av bränsle, panntyp, askfraktion, driftbetingelser o s v.

Det är viktigt att uppmärksamma att dessa variationer inte bara uppkommer mellan olika uttagsställen i en panna utan också över tid. Detta beror på ändrad bränsleanvändning, ändrad effekt på olika pannor e t c. Vidare kan det hända att olika askfraktioner i en anläggning blandas på olika sätt vid olika tillfällen. Enstaka askprover från en anläggning bör därför ses som exempel på hur en aska kan se ut – inte som något som nödvändigtvis är representativt för anläggningen i fråga (något sådant finns antagligen inte).

Dessa omständigheter innebär inte sällan vissa problem i samband med återföring. Visserligen anger Skogsstyrelsen[31] att det är askans kvalitet och inte dess exakta ursprung som räknas, men det ankommer ändå på anläggningsägaren att kunna visa att den aska som skall spridas är lämplig. Detta blir naturligtvis omständligare när ingående aska uppvisar variationer vilka i sin tur beror av ett flertal parametrar.

### **1.3 Tillämpning**

Undersökningar som utförts indikerar att bottenaskor från rena träbränslen eller återvinningsbränslen med måttliga halter av miljöstörande ämnen kan vara lämpliga för återfyllnad kring fjärrvärmeledningar. I något fall har också en sådan tillämpning kommit till stånd (bottensand från fluidbäddpanna).

Mängden tillgängliga data är dock starkt begränsat<sup>3</sup> och slutsatsen i föregående stycke dras i stor utsträckning utgående från analogier.

Det är framförallt två hypoteser som ligger till grund för det arbete som redovisas i denna rapport:

- 1 Aska från förbränning av träbaserade bränslen kan tänkas kvalificeras som ett lämpligt kringfyllnadsmaterial för fjärrvärmeledningar.
- 2 Fyllning med aska kring fjärrvärmeledningar kan utgöra en ”pilottillämpning” för kvalificerad användning av aska utanför en deponi

---

<sup>3</sup> Bland annat har någon rapportering om användning av flygaska från träbränslebaserade bränslen inte påträffats.

Om aska från träbaserade bränslen skall användas för kringfyllningsändamål skulle askan behöva ”produktifieras”, d v s finnas tillgänglig i tillräcklig mängd, med lämpliga, kvalitetssäkrade egenskaper och med små variationer i dessa. Användning av kringfyllnadsmaterialet skulle leda till förutsägbara egenskaper hos ledningssystemet liksom tillförlitlig funktion.

Etablerandet av ett sådant system för användning skulle ha betydelse även utanför den aktuella tillämpningen. För en lyckad introduktion av aska för olika kvalificerade geotekniska ändamål krävs lyckade förebilder. Det är viktigt att den första tillämpningen väljs på ett sådant sätt att:

- sannolikheten att lyckas är relativt hög (tillämpningen bör inte vara alltför komplicerad)
- specifika egenskaper hos askan bör efterfrågas och utnyttjas (det får inte handla om ”förtäckt deponering” för att slippa deponiskatten)
- försökstillämpning bör utföras i full skala
- den askpost som efterfrågas bör vara lagom stor så att kvalitetssäkrat och homogent material kan tas fram
- tillämpningen bör inte avse något miljö känsligt område<sup>4</sup>
- det bör finnas goda möjligheter till att bestämma om någon miljö störning skulle uppkomma

Initialt gjordes bedömningen att den tilltänkta användningen skulle ha goda möjligheter att utformas på ett sådant sätt att ovan nämnda förutsättningar uppfylls.

---

<sup>4</sup> Huruvida aska i grönområden kan innebära förorening av grundvattnet bör vara föremål för särskild analys. I allmänhet utgör stadsområden grundvattensänkor, och eventuella miljö störande ämnen dränerar till de dräneringar som finns.

## 2 SYFTE OCH UPPLÄGGNING

### 2.1 Syfte

#### 2.1.1 Projektet som helhet

Det föreslagna projektet som helhet syftar till att klarställa hur aska från eldning med träbaserade bränslen skall kunna användas i markanläggningar för fjärrvärmedistribution. För att det framtagna underlaget skall kunna användas på ett enkelt sätt vid de olika anläggningarna föreslås att slutdokumentet ges formen av en användarhandbok.

Arbetet föreslås bedrivas enligt följande:

- A Förstudie, d v s denna rapport
- B Huvudstudie
  - 1 *Förberedelser*, d v s identifiering av förläggningsprojekt, askpost, karakterisering före eventuell markstörning, karakterisering av aska före åldring och hantering, förberedelse för entreprenad
  - 2 *Behandling av aska*: d v s åldring, homogenisering, krossning och siktning, karakterisering efter åldring, eventuell inblandning av annat material
  - 3 *Förläggning*
  - 4 *Uppföljning*
- C Framställning av användarhandbok

Projektet tar inte ställning till vilken destination som bör väljas för en aska: spridning på skogsmark, deponering eller geoteknisk användning. Däremot skall projektet resultera i att förutsättningar och konsekvenser av askanvändning för förläggningsändamål klarställs och att anläggningsinnehavarna genom detta får ett förbättrat underlag för sina beslut om askors destinationer.

#### 2.1.2 Förstudien

Det i denna rapport redovisade arbetet avser förstudien, d v s punkt A ovan.

Syftet med denna förstudie är att åstadkomma en allmän kartläggning av förutsättningarna för användning av aska i fjärrvärmeanläggningar. Syftet är också att identifiera vilka insatser som behövs för att utföra huvudstudien och för att ställa samman handboken (jfr avsnitt 2.1.1). Studien skall också ge underlag för ett eventuellt beslut om att inte gå vidare.

## 2.2 Uppläggnig av arbetet

Arbetet omfattar följande moment:

- 1 Inhämtning av kunskap och erfarenheter fjärrvärmeanläggningarna i
  - Norrköping
  - Jönköping
  - Linköping
  - Örebro
  - Södertälje
- 2 Inhämtning av kunskap avseende funktionskrav (frånvaro av större aggregat, genomsläplighet/täthet, friktion mot ledningar, inre friktion, eventuellt flera)
- 3 Informationssökning i andra källor
- 4 Analys och sammanställning
- 5 Rapportering, inklusive remissförfarande

Uppdraget går ut på att dels klarställa vilka krav som kan ställas på en förläggning ur geoteknisk synpunkt och ur miljösynpunkt, dels belysa hur dessa krav skulle kunna tillgodoses med hjälp av kringfyllnad med aska från förbränning av träbränsle. För detta hämtas information från olika håll enligt ovan och redovisas i sammanställd form i rapporten. Det underlagsmaterial som genomgått redovisas i avsnitt 8.

Den inhämtade informationen analyseras sedan vilket leder till uppställandet av funktionskrav, beskrivning av möjligheter till tillämpningar, avgivande av rekommendationer samt ekonomiska överväganden.

Arbetet har följts och stötts av en arbets- och referensgrupp bestående av följande personer:

Göran Jonsson	Sydkraft Östvärme AB.
Ture Nordenswan	Svenska Fjärrvärmeföreningen
Bo Skoglund	Sydkraft Mälardalen Värme AB.
Lennart Ryk	Söderenergi AB.
Mats Sundberg	Jönköping Energi AB
Stig-Olof Taberman	Tekniska Verken i Linköping AB.
Johan Tjernström	Fortum AB

Dessa personer har medverkat bl a genom ingående diskussioner om innehåll och arbete i projektet samt om rapporteringen och författaren tackar för detta mycket värdefulla engagemang. Alla fel, brister och missbedömningar med mera skall emellertid i sin helhet lastas författaren.

## 3 INFORMATION FRÅN DELTAGANDE FÖRETAG

### 3.1 Händelöverket i Norrköping

*Kontaktperson Göran Jonsson, Sydkraft Östvärme AB.*

**Panna 11** är en rosterpanna med skakning på rostern. Normalt används 100 % returflis men ibland ingår inblandning med 20 % skogsflis. Händelöverket har nyss fått tillstånd för en ny uppläggningsplats. För denna finns MKB samt utredning om tungmetaller och organiska potentiellt miljöstörande ämnen.

Flygaska från panna 11 läggs sedan tidigare i gamla bergrum för oljelagring och dessutom pågår en ny tillståndsprocess för askan från den nya avfallspannan.

**Panna 12** är en traditionell kolpanna med roster. Den eldas bl a med gummiflis. Pannan ger en bottenaska med goda egenskaper.

**Panna 13** är av typ CFB och eldas med bl a skogsavfall.

Det finns ett generellt tillstånd att nyttja kolslagg i Norrköping från före den från i fjol gällande avfallsförordningen (5-7 år sedan). Anmälan sker från fall till fall till miljökontoret (till vilket länsstyrelsen har hänvisat). Ca 170 000 kubikmeter aska har använts för hamnbassäng och E4. Aska har också använts för kringfyllnad kring ledningar, fjärrvärme och elledningar samt för jordmaterial.

Kringfyllnaden kring fjärrvärmeledningar har bestått av bäddsand som genererats vid eldning av skogsbränsle. Använd bäddsand från eldning av återvinningsbränslen har däremot inte använts på grund av i första hand innehållet av zink från däck.

Händelöverket har också arbetat med återföring till skogsmark. Uppåt 500 ton aska har använts för detta ändamål.

### 3.2 Jönköping Energi

Jönköping Energi har bland annat en pulvereldad panna (d v s rent biobränsle) i vilken askan huvudsakligen uppkommer i form av flygaska.

Askans används redan i dag till stor del i olika geotekniska projekt, bl a till planer och uppställningsplatser. Econova i Norrköping hämtar regelbundet aska för användning i odlingsjord.



Jönköping Energi bygger för närvarande stadigt ut sitt fjärrvärmenät med ca 15 – 20 km per år. Förhållandena är lite speciella genom den stora variationen i nivå samt genom att bebyggelsen är utspridd längs Vätterns södraste del.

Genom att man hela tiden bygger ut och därmed har planering för entreprenader varje år, samt genom att man har en ren bioaska kan de tekniska förutsättningarna för ett pilotprojekt med aska som kringfyllnad vara goda.

### **3.3 Tekniska verken i Linköping**

Kontaktperson Stig-Olof Taberman, Tekniska Verken i Linköping AB.

Aska genereras dels i Kraftvärmeverket (energiverk) och i Gärstadverket (avfallsförbränning).

Vid kraftvärmeverket finns en kolpanna som eldas med kol och gummiflis, en oljepanna och en rosterpanna (panna 3) som eldas med 45 % returflis och 45 % bark samt 10 % plast.

Efter ombyggnader sommaren 2001 tas nu bottenaskan från träpannan ut separat vilket ger möjlighet till geoteknisk användning av denna.

Förbränningen i Gärstadverket har pågått sedan 1981. Avfallet behöver ej finsorteras (ej rötning) före förbränningen varför en del metallkomponenter kommer med i askan. Askan behandlas därför efter förbränningen varvid metaller samt större föremål separeras bort och materialet siktas till önskad gradering. Bränslet består till ca 75 % av hushållsavfall och 25 % industriavfall (papper, papp och plast). Totalt genereras årligen 57 000 ton slagg och ca 5000 ton rest från rökgasrening. Den senare blandas med slam och deponeras i en särskild del av deponin.

Ca 230 000 ton/år förbränns i de tre rosterpannorna. Planer finns på att bygga en fjärde panna. Det är ännu inte klart om den nya pannan skall bli en rosterpanna eller fluidbäddpanna. Att de tidigare pannorna är rosterpannor talar för att även den nya pannan skall bli av samma typ.

I dag hamnar alla askor på deponi. Bottenaskan från Gärstadsverket används geotekniskt på deponin och det blir i dag inga askor över som skulle kunna användas utanför. Det material som används har förbehandlats enligt ovan (siktning samt metallseparation) samt lagrats i speciella "limpor" under sex månader. Utvecklingsarbete pågår när det gäller bottenaskan från panna 3 i Energiverket.

Deponin ligger på en gammal lertäkt. Leca bryter fortfarande lera på granntomten.

Kolbottenaskan har använts geotekniskt, bl a som underlag för cykelväg. Tekniska Verken i Linköping har emellertid inte något generellt tillstånd på samma sätt som Händelöverket i Norrköping trots att det är samma länsstyrelse. Ansökan/anmälan sker från fall till fall till kommunens miljökontor.

### 3.4 Sydkraft Mälardalen Värme AB i Örebro

Kontaktperson Bo Skoglund, Sydkraft Mälardalen Värme AB.

Återanvändning av aska är i första hand aktuellt för CFB-pannan. Den eldas huvudsakligen med bibränslen men kampanjer med återvinningsbränslen förekommer också. Förbränningen är ganska fullständig med halter oförbränt kring 0,5-1 %.

I första hand arbetar man med bottenaska / använd sand som genereras till en volym av ca 1 800 ton per år. Den har miljökaraktäriserats och kompletterande miljömätningar pågår. Mätningarna görs på Örebro Universitet.

Man har sand på plats och har för avsikt att inom kort använda denna geotekniskt utanför anläggningen.

### 3.5 Igelstaverket i Södertälje

Kontaktperson Lennart Ryk, Söderenergi AB.

Igelstaverket har tre pannor vilka vid leveransen (tidigt 1980-tal) var tre identiska kolpulverpannor. I dag är samtliga ombyggda enligt följande.

Panna 1 är en rosterpanna i vilket man eldar rejekt innehållande huvudsakligen papper, papp och plast men även en mindre mängd flis ingår.

Panna 2 är en pulverpanna i vilken eldas mald torv, ibland tillsammans med beckolja.

Panna 3 är en fluidbäddpanna som eldas med returflis samt flisad slipers som är impregnerad med kreosot (ej tungmetaller).

Aska faller enligt följande schema:

	1	2	3
	Rosterpanna	Pulverpanna	Fluidbäddpanna
bottenaska	från rostern	från botten av pannan	Överstorlek i sikt som tar material från cyklon
flygaska	elektrofilter	elektrofilter	elektrofilter
	slangfilter	slangfilter	slangfilter

I samtliga tre pannor utförs svavelrening i våt/torr skrubber med kalciumhydroxiduppslamning som sprayas samt torkas av rökgasen. Reningen sker efter elektrofiltret men före slangfiltret.

Askan från anläggningen har hittills i huvudsak lagts på upplag på Telge Återvinning AB:s deponi i Tveta utanför Södertälje. En del av askan har använts geotekniskt på deponin och det pågår projekt som syftar till utökad användning bland annat för sluttäckning av hushållsavfall.

Det finns planer på ytterligare segregering av askflödena vilket bl a kunde underlätta användning av aska utanför deponi.

## 4 ASKOR

### 4.1 Träbaserade bränslen m m

De ämnen som ingår i askan kommer från bränslet samt i viss mån också från rökgasreningssprodukter (och också från syret i luften).

Halten aska i rent biobränsle varierar mellan mindre än en procent för stamved och upp till ca fem procent för GROT (grenar och toppar). Sammansättningar för rena träbränslen framgår ur Tabell 1. Värdena i tabellen utgör medelvärden för träaskor från anläggningar i Finland och Sverige.[1]

**Tabell 1.** *Huvudelement i träaskor från förbränningsanläggningar i Finland och Sverige, viktsprocent.*

**Table 1.** *Major elements in wood ashes from combustion plants in Finland and Sweden, weight percent.*

Ämne	Medianvärde	Minimum	Maximum	Antal prover
Kalcium	17,0	1,4	54,9	156
Magnesium	1,9	0,0	6,7	154
Kalium	4,2	0,7	15,0	156
Fosfor	0,9	0,1	2,7	155
Natrium	0,7	0,1	3,6	129
Aluminium	1,4	0,0	6,8	128
Järn	1,0	0,0	9,5	147
Mangan	1,2	0,2	2,8	146
Kisel	7,6	0,2	31,0	127
Svavel	0,5	0,0	6,5	121

Det bör observeras att även om rena träbränslen används så tillkommer ofta rester från rökgasrening. I denna reagerar bränslets innehåll av svavel med släkt kalk till slutprodukten gips.

Ett viktigt ämne klor, som ofta förekommer i förhöjda halter i återvinningsbränslen. Detta ämne en stor betydelse för fraktioneringen av olika ämnen under förbränningsprocessen. Klor har också betydelse för bildningen av dioxin, se avsnitt 4.3. Klor förekommer framförallt i PVC-plast och målat trä[2].

Även svavel kan förekomma i förhöjda halter i återvinningsbränsle. Svavel kan framförallt förekomma i byggavfall där det ingår i gipsskivor.[2]

Ingående metallskrot i återvinningsbränsle frånskiljs i dag i stor utsträckning.

Viktiga potentiellt miljöstörande ämnen kan förekomma i återvinningsbränslen. Det som kan finnas i högst halt är zink som ingår i gummi, i färg (alla kulörer) och som galvanisering. Följande ämnen kan förekomma i spårhalter: bly (äldre typer av färg), arsenik (t ex från felsorterat äldre tryckimpregnerat trä), koppar (från metallisk koppar och träimpregnering), krom (finns i låga halter i läder) och barium (som används som vitmedel för papper i form av bariumsulfat).[2]

## **4.2 Förbränningsanläggningar**

Lite förenklat kan man ange att det förekommer tre typer av förbränningsanläggningar för träbaserat bränsle: fluidbäddpanna, rosterpanna och pulverpanna. För beskrivning av dessa panntyper se t ex [3-5].

I en rosterpanna uppkommer en stor del av askan i form av bottenaska, medan andelen bottenaska (eller motsvarande) i övriga pannor ofta är liten.

I alla panntyper kan aska frånskiljas i form av flygaska från elektrofilter och från slangfilter samt i form av rökgasreningsprodukt (vilket ofta fångas upp med hjälp av slangfilter). Om rökgaskondensering tillämpas erhålls även ett slam från denna.

Bottenaska, elektrofilteraska och slangfilteraska uppkommer i torr form men tas ibland ut i fuktig eller våt form (undantag bottenaska från rosterpanna som alltid släcks i vatten och tas ut i våt form; den dränerar dock väl). Rökgasreningsprodukt kan uppkomma i såväl våt som torr form beroende på typen av rökgasrening. Slam från rökgasrening uppkommer alltid i våt form.

Uttag av aska innebär ofta att olika askfraktioner blandas.

## **4.3 Bildning och fördelning av ämnen under förbränningsprocessen**

Beskrivningar av bildning och fördelning av ämnen under förbränningsprocessen ges bl a i [6-10]

Under askbildningsprocesserna i en panna sker en fraktionerad kondensation. Detta innebär att klorider av natrium och kalium, samt zink, kadmium och bly (i den mån dessa senare ämnen förekommer) hamnar i flygaskan och att bottenaskan blir utarmad med avseende på dessa ämnen. Beroende på betingelserna kan dock avsevärda andelar av ingående natrium, kalium och zink samt framförallt kalcium hamna i bottenaskan. Kadmium och bly anrikas starkt i flygaskan.

Det har tidigare nämnts att det svavel som finns i rökgasen fångas upp med hjälp av kalk. Detta gäller även sådan klor som finns i rökgasen i form av saltsyra.

I samband med förekomst av klor kan dioxiner bildas under förbränningsprocessen [11]. Även polyaromatiska kolväten (PAH) kan bildas [12-13]

## **4.4 Åldrings- och mognadsreaktioner**

### **4.4.1 Förhållande till vatten**

Åldrings- och mognadsmekanismer träder i funktion så snart aska kontaktas med vatten. Även koldioxid reagerar med aska så snart den blivit fuktig.

Åldrings- och mognadsmekanismer beskrivs bl a i referenserna [6-7,14-27].

Kalciumklorid och gips som finns i askan har en hög benägenhet att ta upp vatten och bilda så kallade hydrater. Reaktionshastigheten kan emellertid i vissa fall vara starkt beroende av detaljerna i kemin.[28-29]

Kalciumklorid och gips som tagit upp vatten kan relativt lätt förlora detsamma även om det föreligger som hydrater. Det mesta av detta förångas vid upphettning till temperaturer kring 100 - 200 °C.

En stor del av det kalcium som finns i askan föreligger i en sådan form i att det reagerar med vatten till kalciumhydroxid. Denna ger upphov till ett högt pH-värde hos porvattnet.

Aska kan ibland innehålla höga halter klorid. De klorider som är aktuella i aska är alla lösliga eller mycket lösliga i vatten. Så snart aska försatts med vatten övergår därför huvuddelen av kloriderna till porvattnet.

När vatten rinner genom en askbädd sköljs således lösliga salter bort och halten klorid sjunker till låga värden. Motjonerna till klorid utgörs i första hand av natrium och kalium samt kalcium.

Den tidigare nämnda kalciumhydroxiden har visserligen en tillräcklig löslighet för att ge upphov till ett högt pH-värde, men är tillräckligt svårslöslig för att finnas kvar under många år i ett askupplag utomhus.

### **4.4.2 Förhållande till luft**

Aska kan reagera med såväl luftens syre som dess innehåll av koldioxid.

Luftens innehåll av koldioxid reagerar snabbt med kalciumhydroxid om denna är fuktig och om porositeten är tillräcklig för den transport i gasfas som behövs

Luft innehåller bara 0,03 volymprocent koldioxid. Därför behövs det omsättning av stora volymer luft för att karbonatisering av betydelse skall komma till stånd.

### 4.4.3 Härdningsreaktioner

I de flesta fall bildar aska som legat utomhus under några månader ett sammanhängande material som till sina mekaniska egenskaper påminner om mycket hård torkad lera. Egenskaperna kan emellertid variera kraftigt.

Vissa askor härdar till hårda kroppar inom loppet av någon timme efter det att de kontaktats med vatten medan andra askor kräver betydligt längre tid.

Vissa askor härdar först till ett hårt och hållfast material för att några timmar senare falla sönder till ett pulver.

Detaljerna till dessa förändringar är än så länge ofullständigt kända även om olika förklaringar har framförts med visst stöd i litteraturen.

Vid mera långvarig åldring bildas silikater och aluminater av kalcium samt natrium och kalium[22].

Det borde vara en fördel om utlakning av lösliga salter kan ske innan de mera långsamma reaktionerna äger rum. I annat fall lakas salterna ut efter det att strukturen funnit sin form med högre – och eventuellt öppen - porositet som följd.

### 4.5 Hantering och egenskaper

Av olika skäl bör den aska som används som kringfyllning kring ledningar vara förbehandlad på lämpligt sätt. Den genomgång som gjorts (jämför avsnitten 4.1-4.4) indikerar att för många askor är en sådan hantering och behandling lämplig som motsvarar vad som i dag rekommenderas för askor från avfallsförbränning. Någon rapportering från något försök som utförts med syfte att verifiera metodiken för andra askor än sådana från avfallsförbränning har emellertid inte påträffats.

Metodiken är i första hand avsedd för bottenaskor men bedöms efter komplettering även kunna tillämpas på flygaskor.

Aska från energiutvinning läggs upp på en lämplig hårdgjord yta samt utsätts för väder och vind. Efter en tid sker en viss härdning. Om denna leder till att täta ytskikt bildas bör strukturen luckras upp genom grovkrossning.

Materialet bör läggas upp i strängar med någon meters mäktighet. Avgörande för åldringsprocesserna är att vatten kan perkolera och luft blåsa igenom. På detta sätt säkerställs följande:

- att lösliga salter lakas ut
- tillräcklig tillgång till vatten för olika hydratiserings- och omlagringsreaktioner
- att materialet karbonatiseras

Utlakning av lösliga salter innebär att ingen saltbelastning sker av miljön kring där materialet skall användas. Det innebär också att materialstrukturen i mikroskala förblir tät och att inte hålrum och porer skapas genom att material försvinner.



# 5 MILJÖASPEKTER

## 5.1 Inledning

Användning av aska från förbränning av träbränslen har urgamla anor. Aska från svedjebruk tillförde jorden näringsämnen för grödornas tillväxt. Vid tvätt liksom vid lutning av torkad fisk användes också vedaska.

I dag genereras totalt ca en miljon ton träbränslebaserade askor om året [30] varav endast en mindre del tas till vara och används. Huvuddelen går till deponi med höga kostnader för deponering och deponiskatt som följd.

Ett viktigt skäl för detta är att det i Sverige i dag i stor utsträckning saknas praktiskt tillämpbara regler för under vilka former aska kan återanvändas.

Detta beror på att aktuella författningar är under mycket snabb utveckling för närvarande. Den nya miljöbalken som kom 1988 innehåller visserligen generella stadganden. Att utgå från dessa i varje enskilt fall är emellertid ogörligt och det behövs konkreta myndighetsregler och branschrekommendationer samt exempel och förebilder som efter anpassning kan tillämpas på enskilda fall.

### **Faktaruta:**

Industriell verksamhet regleras av *lagar, förordningar, föreskrifter, allmänna råd, normer och standarder*. Lite förenklat kan sägas att lagar, förordningar föreskrifter och allmänna råd utgör krav som staten ställer medan normer och standarder är regler som branscher ställer upp för att – i normalfallet – leva upp till de offentliga kraven. Normer och standarder används också för att uppnå tillräcklig kvalitet. Lagar, förordningar, föreskrifter och allmänna råd kallas med ett gemensamt namn för författningar. Lagar stiftas av riksdagen och skall numera harmoniera med EU-direktiv. Förordningar utfärdas av regeringskansliet, d v s vanligen av något departement. Föreskrifter liksom allmänna råd utfärdas av ansvarig myndighet som sorterar under något departement. Föreskrifter är bindande, d v s måste efterlevas medan allmänna råd inte nödvändigtvis måste följas (även om detta många gånger kan vara klokt ändå).

En viktig aspekt i sammanhanget är harmonisering inom EU. Detta innebär att svenska myndigheter inte längre kan sätta sig ner och på egen hand komma fram till vad exempelvis en föreskrift skall innehålla. Harmoniseringen inom EU innebär att det tar längre tid att bereda och besluta i olika frågor. Det innebär också att svenska författningar kan komma att genomföras med mycket kort varsel samt ”hänga i luften” tills beslut fattas om kompletterande författningar.

Ett exempel på detta är den nya *Avfallsförordningen* (se avsnitt 5.3) som kom i december 2001, i vilken gränserna mellan olika avfallsklasser endast ges på ett principiellt sätt. Något enskilt svenskt dokument som preciserar detta finns inte. I stället anges i förordningen bl a vilka egenskaper som

gör att ett avfall klassas som farligt samt hur flertalet av dessa skall kopplas till de sk riskfraser som definieras i Kemikalieinspektionens föreskrifter och allmänna råd.

Vidare har Europeiska Unionens Råd den 10 december 2002 fattat ett ”beslut om kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid avfallsdeponier”[33] i vilket gränsdragning görs mellan kategorierna farligt avfall, icke farligt avfall och inert avfall. Beslutet träder i kraft den 16 juli 2004 och kriterierna (i avsnitt 2 i bilagan) skall tillämpas i medlemsstaterna från och med den 16 juli 2005. Enligt uppgift från Naturvårdsverket kommer de att påbörja arbetet med anknytande ny nationell lagstiftning under våren 2003.

Osäkerheten kring författningarna återspeglar sig i hur lagar och förordningar tillämpas, och det är naturligt och förklarligt att olika myndigheter i det uppkomna läget tillgriper försiktighetsprincipen. Författarens intryck – efter att ha varit i kontakt med ett antal företrädare för olika anläggningar – är att gränssättningarna är klart olika i olika delar av landet. Detta beror delvis – men inte helt – på att vissa tillstånd givits för en tid sedan när reglerna var delvis annorlunda.

Det bör betonas att klassificeringen enligt avfallsförordningen endast avser en avfallsklassning och att denna därmed inte har någon direkt koppling till tillåtlighet vid användning av material. Däremot torde det knappast vara djärvt att anta att potentialen för att få acceptans för geoteknisk användning utanför en deponi av sådant som bör klassas som farligt avfall är mycket låg.

Inför en ansökan om att använda askmaterial geotekniskt utanför en deponi behöver sökanden därför känna till de olika förordningar och rekommendationer som ligger till grund för hur denna kan komma att bedömas.

I det följande (se avsnitt 5.3 – 5.7) genomgås därför följande dokument:

- Avfallsförordningen och förordningen om deponering av avfall
- EU:s förslag till gränsvärden för inert avfall
- Naturvårdsverkets rekommendationer om förorenad mark
- Naturvårdsverkets rekommendationer om sjöar och vattendrag samt om grundvatten
- Skogsstyrelsens meddelande[31] om askåterföring

Dessutom ges en kort beskrivning av den övergripande lagstiftningen i avsnitt 5.2

Med detta som underlag diskuteras sedan miljöredovisning i avsnitt 5.8.

Framställningen i denna förstudierapport fokuserar mot att identifiera olika aspekter att beakta i samband med en ansökan. Den ersätter således inte behovet av fackmannastöd i samband med utformning av en ansökan och hantering av den legala processen.

## **5.2 Övergripande lagstiftning**

*Övergripande mål om hushållning och återanvändning.*

I 1 kap 1§ säger miljöbalken (SFS 1998:808): ”Miljöbalken skall tillämpas så att ... återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås”. Det har alltså ett värde i sig att använda aska utanför deponi.

Samma tanke återfinns i Europaparlamentets Direktiv (2000/76/EG) om förbränning av avfall: ”Restprodukter från driften av förbrännings- eller samförbränningsanläggningen skall minimeras i fråga om mängd och skadlighet. Restprodukterna skall där det är lämpligt återvinnas direkt i anläggningen eller utanför denna i enlighet med gemenskapslagstiftningen på området”.

*Aska från bränsle som inte innehåller ”avfall”*

Hantering av så kallade miljöfarliga ämnen regleras av miljöbalken (SFS 1998:808, kapitel 9) samt av förordningen (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd. Enligt dessa författningar torde rena träbränslen samt restprodukter som innehåller rent trä inte falla under någon anmälnings- eller tillståndsplikt. Detta behöver emellertid inte innebära att man inte behöver söka tillstånd. Om tillsynsmyndigheten bedömer att en verksamhet ”medför risk för betydande föroreningar eller andra betydande olägenheter för människors hälsa eller miljön”(SFS 1998:808 kapitel 9, § 6) har den ändå rätt att i enskilda fall förelägga en verksamhetsutövare att ansöka om tillstånd. Därför kan det vara klokt för en potentiell askanvändare att i förväg på ett rimligt sätt övertyga sig om att några sådana risker eller olägenheter inte föreligger.

Det kan vara av intresse att notera att enligt EU:s förbränningsdirektiv (2000/75/EG, artikel 9) ”friklassas” (d v s klassas ej som avfall) jungfruligt träavfall samt träavfall som ej är bemålat eller impregnerat så att det innehåller förhöjda halter av tungmetaller eller halogener.

*Aska från bränsle som innehåller ”avfall”*

Enligt miljöbalken (SFS 1998:808, kapitel 15, § 1) avses med begreppet *avfall* ”varje föremål, ämne eller substans som ingår i en avfallskategori och som innehavaren gör sig av med eller avser eller är skyldig att göra sig av med”. En närmare diskussion om gränsdragningen mellan avfall och icke avfall återfinns i [32].

Enligt EU:s förbränningsdirektiv (2000/75/EG, artikel 9) gäller följande:

*”Innan beslut fattas om på vilka sätt de olika restprodukterna från förbrännings- och samförbränningsanläggningar skall bortskaffas eller återvinnas skall erforderliga analyser göras för att bestämma deras fysikaliska och kemiska egenskaper samt deras föroreningspotential. Analysen skall gälla den totala lösliga fraktionen och den lösliga fraktionen av tungmetaller.”*

Sådana analyser ingår i de utredningar som kan erfordras för att avgöra om ett visst avfall skall klassas som farligt avfall, icke farligt avfall eller inert avfall (se avsnitt 5.3 och 5.4).

Eftersom material som klassas som farligt avfall kräver omfattande föranstaltningar i form av bl a tätskikt när det läggs på deponi torde det vara mycket svårt – eller omöjligt - att få tillstånd för

geoteknisk användning av motsvarande material utanför en deponi. För en aska som efter lämplig hantering kan klassas som inert avfall bör det däremot finnas en god potential. Som närmare framgår i det följande är det emellertid ett antal aspekter som behöver beaktas i sammanhanget.

### **5.3 Avfallsförordningen och förordningen om deponering av avfall.**

I förordningen om deponering av avfall (SFS 2001:512) definieras tre kategorier avfall:

- Farligt avfall
- Icke farligt avfall
- Inert avfall

Med icke farligt avfall avses (SFS 2001:512, §3) *”avfall som inte genomgår några väsentliga fysikaliska, kemiska eller biologiska förändringar. Inert avfall löses inte upp, brinner inte och reagerar inte fysikaliskt eller kemiskt på något annat sätt, inte heller bryts det ner biologiskt eller inverkar på andra material som det kommer i kontakt med på ett sätt som kan orsaka skador på miljön eller människors hälsa. Den totala lakbarheten och det totala föroreningsinnehållet i avfallet samt ekotoxiciteten hos lakvattnet skall vara obetydliga och får inte äventyra kvaliteten på yt- eller grundvatten.”*

Med icke-farligt avfall avses sådant avfall som inte är farligt avfall. Gränsdragningen mellan farligt och icke-farligt avfall beskrivs på ett principiellt sätt i avfallsförordningen (SFS 2001:1063). Med farligt avfall avses sådant avfall som är markerat med en asterisk (\*) (§ 4) i Bilaga 2 eller annat avfall som har en eller flera egenskaper som anges i Bilaga 3. Relevanta delar av Bilaga 2 av avfallsförordningen återges i Tabell 2 (för en fullständig uppräknig, se källan).

Notera att enligt indelningen i Tabell 2 klassas aska från förbränning av rent trä, kol och torv som icke-farligt avfall, liksom rökgasreningningsprodukter och bäddsand.

Den stora frågan i Tabell 2 är annars vad som menas med ”farligt ämne”. Enligt Bilaga 2 i avfallsförordningen avses med *farligt ämne*: *”ett ämne som har klassificerats eller kommer att klassificeras som farligt enligt direktiv 67/548/EEG och senare ändringar av detta direktiv”*.

I Bilaga 3 i avfallsförordningen redovisas ett antal *egenskaper* som gör att ett avfall klassificeras som farligt. Bland anmärkningarna efter tabellen preciseras vilket innehåll av ämnen med olika farlighet som medför att restprodukten i fråga skall klassas som farligt avfall. Det anges vidare att *”såväl klassificeringen som R-numren är de som används i direktiv 67/548/EEG om tillnärmning av lagar och andra författningar om klassificering, förpackning och märkning av farliga ämnen och i senare ändringar till detta direktiv ...”*. Det anges också att *”koncentrationsgränserna är de som fastställts i direktiv 88/379/EEG om tillnärmning av medlemsstaternas lagar och andra författningar om klassificering, förpackning och märkning av farliga preparat (beredningar)”*.

Kriterierna i direktiven har i sin tur preciserats genom Kemikalieinspektionens föreskrifter KIFS 1998:8 om klassificering och märkning av kemiska produkter, i vilka hänvisas till samma direktiv

som i den nya avfallsförordningen, samt i de råd som Kemikalieinspektionen lämnat med stöd av dessa föreskrifter (KIFS 1994:12).

**Tabell 2.** *Indelning i farligt avfall respektive icke-farligt avfall för några relevanta kategorier ämnen enligt avfallsförordningen (SFS 2001:1063, Bilaga 2).*

**Table 2.** *The distinction between hazardous and non-hazardous waste according to avfallsförordningen (SFS 2001:1063, Bilaga 2).*

Beteckning	Avfallsslag
10	AVFALL FRÅN TERMISKA PROCESSER
10 01	<i>Avfall från kraftverk och andra förbränningsanläggningar (utom 19)</i>
10 01 01	Bottenaska, slagg och pannaska (utom pannaska som anges i 10 01 14)
10 01 02	Flygaska från kolförbränning
10 01 03	Flygaska från förbränning av torv och obehandlat trä
10 01 04*	Flygaska och pannaska från oljeförbränning
10 01 05	Kalciumbaserat reaktionsavfall i fast form från rökgasavsvavling
10 01 07	Kalciumbaserat reaktionsavfall i slamform från rökgasavsvavling
10 01 13*	Flygaska från emulgerade kolväten som används som bränsle
10 01 14*	Bottenaska, slagg och pannaska från samförbränning som innehåller farliga ämnen
10 01 15	Annan bottenaska, slagg och pannaska från samförbränning än den som anges i 10 01 14
10 01 16*	Flygaska från samförbränning som innehåller farliga ämnen
10 01 17	Annan flygaska från samförbränning än den som anges i 10 01 16
10 01 18*	Avfall från rökgasrening som innehåller farliga ämnen
10 01 19	Annat avfall från rökgasrening än det som anges i 10 01 05, 10 01 07 och 10 01 18
10 01 20*	Slam från avloppsbehandling på produktionsstället som innehåller farliga ämnen
10 01 21	Annat slam från avloppsbehandling på produktionsstället än det som anges i 10 01 20
10 01 22*	Vattenhaltigt slam från rengöring av pannor som innehåller farliga ämnen
10 01 23	Annat vattenhaltigt slam från rengöring av pannor än det som anges i 10 01 22
10 01 24	Sand från fluidiserade bäddar
19	AVFALL FRÅN AVFALLSHANTERINGS-ANLÄGGNINGAR, EXTERNA AVLOPPSRENINGSVÄRK OCH FRAMSTÄLLNING AV DRICKSVATTEN ELLER VATTEN FÖR INDUSTRIÄNDAMÅL
19 01	<i>Avfall från förbränning eller pyrolys av avfall</i>
19 01 11*	Bottenaska och slagg som innehåller farliga ämnen
19 01 12	Annan bottenaska och slagg än den som anges i 19 01 11
19 01 15*	Pannaska som innehåller farliga ämnen
19 01 16	Annan pannaska än den som anges i 19 01 15
19 01 19	Sand från fluidiserade bäddar

Slutsatsen av den genomgång som gjorts är att de egenskaper som gör att avfall bör klassificeras som farligt enligt avfallsförordningen (2001:1063) skall relateras till de kriterier för klassificering och märkning av kemiska produkter som redovisas i Bilaga 3 i Kemikalieinspektionens allmänna råd 1999:1 (i denna bilaga hänvisas också till Rådets direktiv 67/548/EEG).

Som grund för efterlevnaden av ovan nämnda författningar har det tagits fram databaser i internationell samverkan. Författaren har i nyligen utförda arbeten åt Sydkraft (Händelöverket i Norrköping), Söderenergi (Igelstaverket i Södertälje) och Telge Återvinning (Tveta utanför Södertälje) använt den senaste versionen (version 9.0) av "Kemiska ämnen" från Prevent.

Det finns även förslag till gränsvärden för olika avfallsslag vilka beskrivs i nästföljande avsnitt.

## 5.4 Gränsvärden för avfall

I Europeiska Unionens Råds”beslut om kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid avfallsdeponier”[33] görs en gränsdragning mellan kategorierna farligt avfall, icke farligt avfall och inert avfall. Kriterierna gäller acceptans av avfall till deponier av olika klass och utgår från en allmän karakterisering samt provning enligt vissa kriterier. De grundläggande kraven omfattar bl a följande:

- källa och ursprung
- tillkomstprocess
- sammansättning och lakegenskaper (se vidare nedan)
- lukt, färg, fysikalisk form m m
- för farligt avfall: farlighetsegenskaper enligt särskild kod
- avfallsklass

Innehållet i deklARATIONEN samt omfattningen av provningen beror på typen av avfall. Man skiljer mellan följande:

- A avfall som regelbundet eller kontinuerligt genereras i samma process
- B udda avfall

För fall A utfärdas någon slags generell beskrivning, inklusive variabilitet, i kombination med processkontroll samt mätningar med relativt långa intervaller.

För fall A görs en redovisning för varje avfallspost.

I dokumentet identifieras avfallstyper för vilka provning inte erfordras. Inga av kategorierna i Tabell 2 stämmer in på någon av dessa. Dessa behöver därför provas enligt särskilt schema.

Provning görs bl a enligt följande metoder  
EN 13137 Total halt av organiskt kol  
EN 12457/1-4 Lakttest

För deponering som inert avfall erfordras att totalhalten organiskt kol inte får överstiga 3,0 %. Dessutom erfordras lakegenskaper högst enligt Tabell 3. I tabellen avser ”L/S = 2 l/kg” att ett kilo avfall lakats med 2 liter vatten. I perkolationstestet avser värdena det första eluatet<sup>5</sup> som uppkommer. Dokumentet [33] innehåller även gränser för BTEX (bensen, toluen, etylbensen och xylener) på 6 mg / kg, PCB (Polyklorinerade bifenylor) (7 kongener) på 1 mg / kg och mineralolja (C10 till C40) på 500 mg /kg. För PAH (polycykliska aromatiska kolväten) anges att medlemsstaterna skall fastställa gränsvärden.

**Tabell 3. Högsta lakvärden för deponering som inert avfall.**

**Table 3. Leaching limit values for disposal as inert waste.**

Beståndsdel	L/S = 2 l/kg	L/S = 10 l/kg	C <sub>0</sub> (perkolationstest)
	mg/kg torrsubstans	mg/kg torrsubstans	mg/l
As	0,1	0,5	0,06
Ba	7	20	4
Cd	0,03	0,04	0,02
Cr totalt	0,2	0,5	0,1
Cu	0,9	2	0,6
Hg	0.003	0,01	0,002
Mo	0,3	0,5	0,2
Ni	0,2	0,4	0,12
Pb	0,2	0,5	0,15
Sb	0,02	0,06	0,1
Se	0,06	0,1	0,04
Zn	2	4	1.2
Klorid	550	800	460
Fluorid	4	10	2.5
Sulfat	560*	1 000*	1 500
Fenolindex	0,5	1	0,3
DOC**	240	500	160
Torrsubstans (TS) för lösta ämnen***	2 500	4 000	

För deponering som icke-farligt avfall erfordras att totalhalten organiskt kol inte får överstiga 50 %. Dessutom erfordras lakegenskaper högst enligt Tabell 4. I tabellen avser ”L/S = 2 l/kg” att ett kilo avfall lakats med 2 liter vatten. I perkolationstestet avser värdena det första eluatet<sup>6</sup> som uppkommer.

<sup>5</sup> Eluat är ett finare ord för sköljvatten.

<sup>6</sup> Eluat är ett finare ord för sköljvatten.

**Tabell 4a.** Högsta lakvärden för deponering som icke-farligt avfall.

**Table 4.** Leaching limit values for disposal as non-hazardous waste.

Komponenter	L/S = 2 l/kg	L/S = 10 l/kg	C <sub>0</sub> (perkolationstest)
	mg/kg torrs substans	mg/kg torrs substans	mg/l
As	0,4	2	0,3
Ba	30	100	20
Cd	0,6	1	0,3
Cr totalt	4	10	2,5
Cu	25	50	30
Hg	0,05	0,2	0,03
Mo	5	10	3,5
Ni	5	10	3
Pb	5	10	3
Sb	0,2	0,7	0,15
Se	0,3	0,5	0,2
Zn	25	50	15
Klorid	10 000	15 000	8 500
Fluorid	60	150	40
Sulfat	10 000	20 000	7 000
DOC*	380	800	250
Torrs substans (TS) för lösta ämnen**	40 000	60 000	

## 5.5 Naturvårdsverkets rekommendationer om förorenad mark

För att ge ytterligare underlag beträffande lämplig klassificering av olika askfraktioner kan jämförelser göras med de "Generella riktvärden för förorenad mark"[34, se även 35-38] som Naturvårdsverket tagit fram. Riktvärdena är avsedda att användas som underlag för riskklassning, förenklad riskbedömning och fördjupad riskbedömning. Bedömningarna görs utgående från föroreningarnas farlighet, föroreningsnivå, utbredning/spridningsförutsättningar och känslighet/skyddsvärde. Vid framtagning av riktvärdena[34] har för varje ämne så många som möjligt av följande värden/uppgifter beräknats eller inhämtats:

- I Ett värde baserat på humantoxikologiska effekter
- II Ett värde baserat på ekotoxiska effekter
- III Bakgrundshalt i naturliga miljöer
- IV Luktgräns för dricksvatten
- V Smakgräns för dricksvatten
- VI Gräns satt av tekniska krav för dricksvatten
- VII Data om bakgrundsexponering
- VIII Uppgifter om hur akuttoxiskt ett ämne är

De sålunda framtagna generella riktvärdena redovisas för några ämnen i Tabell 5.



**Tabell 5.** Generella riktvärden för förorenad mark för några relevanta ämnen enligt Naturvårdsverket[34]. Halter i milligram per kilo torrsubstans. KM = känslig markanvändning, MKM = mindre känslig markanvändning med grundvattenskydd och MKM = mindre känslig markanvändning.

**Table 5.** General guidance values for contaminated soil for some relevant elements according to the Swedish Environmental Protection Agency[34]. Content in milligrams per kilogram dry substance. KM = sensitive land use, MKM = less sensitive land use with groundwater protection, and MKM = less sensitive land use.

Ämne	KM	MKM GV	MKM
Arsenik	15	15	40
Bly	80	300	300
Kadmium	0,4	1	12
Koppar	100	200	200
Krom (ej Cr-VI)	120	250	250
Krom-VI	5	15	20
Kvicksilver	1	5	7
Nickel	35	150	200
Vanadin	120	200	200
Zink	350	700	700

De generella riktvärdena som redovisas i Tabell 5 är utarbetade för att gälla många men inte alla objekt i landet. För användning av riktvärdena för att avgöra föroreningsnivå och åtgärdsbehov behöver därför bedömningar göras som är specifika för det aktuella projektet.

Det bör framhållas - vilket också görs i Naturvårdsverkets rapport [34] - att tabellen är framtagen under antagande av att de olika elementen föreligger i kemiskt tillgänglig form och i termodynamisk kontakt med grundvattnet. De potentiellt miljöstörande ämnena finns emellertid i hög grad kemiskt inneslutna i askan, se avsnitt 4.

Om man vid användning av aska i geotekniska tillämpningar ser till att värdena i Tabell 5 underskrids med god marginal så bör man kunna räkna med att eventuella störningar blir mycket mindre än de som accepteras för sådan förorenad mark som inte behöver saneras.

## **5.6 Naturvårdsverkets rekommendationer om sjöar och vattendrag samt om grundvatten**

Det är väl känt från ett stort antal undersökningar att många klorider och vissa sulfater i askan övergår till vattenfasen men endast en mindre del av de potentiellt miljöstörande ämnena, se avsnitt 4. Detta innebär bl a att aska kan användas på ett miljömässigt tillfredsställande sätt trots att innehållet av vissa miljöstörande ämnen i vissa fall kan överskrida dem hos alternativa material. Skälet för detta är – som beskrivs i viss detalj i avsnitt 4 - att det dels sker en kemisk inneslutning

av miljöstörande ämnen under själva förbränningsprocessen, dels mineralomvandlingar när aska kontaktas med vatten vilket leder till ytterligare kemisk inneslutning. Vid exponering mot luft sker dessutom en karbonatisering som ytterligare minskar utlakningen.

**Tabell 6.** *Indelning av tillstånd för förorenat grundvatten baserat på hälsobaserade gränsvärden för dricksvatten. Halter i mikrogram per liter.*

**Tabell 6.** *Categorisation of status for contaminated groundwater based on salutogenic limits for drinking water. Content in micrograms per liter.*

Ämne	Mindre allvarligt	Måttligt allvarligt	Allvarligt	Mycket allvarligt
Cu	<2 000	2000-6 000	6000-20 000	>20 000
As	<50	50-100	150-500	>500
Pb	<10	10-30	30-100	>100
Cd	<5	5-15	15-50	>50
Hg	<1	1-3	3-10	>10
Ni	<50	50-150	150-500	>500

**Tabell 7.** *Indelning av tillstånd för förorenat ytvatten baserat på hälsobaserade gränsvärden för dricksvatten. Halter i mikrogram per liter.*

**Tabell 7.** *Categorisation of status for contaminated surface water based on salutogenic limits for drinking water. Content in micrograms per liter.*

Ämne	Mindre allvarligt	Måttligt allvarligt	Allvarligt	Mycket allvarligt
Cu	<9	9-30	30-90	>90
Zn	<60	60-180	180-600	>600
As	<15	15-45	45-150	>150
Pb	<3	3-10	10-30	>30
Cd	<0,3	0,3-1	1-3	>3
Ni	<45	45-140	140-450	450>

Naturvårdsverket har i en serie rapporter[39-43] sammanställt bedömningsgrunder för miljökvalitet ur bl a perspektivet sjöar och vattendrag samt grundvatten, se även [34,44-45].

Med stöd av dessa rapporter kan bedömningar göras av tillstånd för förorenat vatten baserat på hälsobaserade gränsvärden för dricksvatten. Resultatet för grundvatten visas i Tabell 6 och för vatten i sjöar och vattendrag i Tabell 7.

Målsättningen för en geoteknisk askanvändning utanför en deponi bör enligt författarens bedömning vara att ligga under de värden som presenteras under rubriken ”mindre allvarligt” i

Tabellerna 6 och 7. Övriga indelningar är emellertid av intresse i samband med miljöriskanalyser i vilka mindre sannolika scenarier studeras.

## 5.7 Skogsstyrelsens föreskrifter om askåterföring

Skogsstyrelsen har utfört och låtit utföra ingående analyser av dels sådana ämnen som det är önskvärt att återföra, dels sådana ämnen vars tillförsel till skogsmark man önskar begränsa.[30,46] Huvudprincipen är [30] att man under en omloppsperiod inte bör återföra mer tungmetaller än vad som tas ut under samma period. Värdena är satta med hänsyn till vissa variationer vilket innebär att detta villkor i normalfallet är uppfyllt med god marginal. Värden med angivna högsta värden redovisas i Tabell 8.

**Tabell 8.** *Skogsstyrelsens rekommenderade högsta halter av ämnen i askprodukter avsedda för spridning till skogsmark.*

**Table 8.** *Recommendations from the National Board of Forestry regarding the maximum content of substances and elements in ash products intended for spreading on forested areas.*

Ämne	Maximihalt milligram per kilo
Bor	500
Koppar	400
Zink	7 000
Arsenik	30
Bly	300
Kadmium	30
Krom	100
Kvicksilver	3
Nickel	70
Vanadin	70
Summa PAH	2

Eftersom innehållet i den aska som sprids på skogsmark får antas bli tillgängligt i sin helhet är potentialen för miljöpåverkan mycket större i samband med spridning jämfört med geoteknisk användning. Det borde därför enligt författarens bedömning vara acceptabelt om värdena i Tabell 8 överskrids vid geoteknisk användning av aska, särskilt i områden som är mindre känsliga ur markanvändningssynpunkt.

## 5.8 Miljöredovisning

Den övergripande lagstiftningen som berör askanvändning redovisades i avsnitt 5.2. Där diskuterades också i vilka sammanhang som det kunde bli aktuellt att söka tillstånd. Om ansökan av

tillstånd krävs enligt miljöbalken (1998:808) kapitel 9, § 6 så krävs en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) enligt miljöbalken kapitel 6, § 1.

Enligt miljöbalken (1998:808) kapitel 6, § 7 skall en sådan MKB innehålla följande:

- ”1. en beskrivning av verksamheten eller åtgärden med uppgifter om lokalisering, utformning och omfattning,
2. en beskrivning av de åtgärder som planeras för att skadliga verkningar skall undvikas, minskas eller avhjälpas, t.ex. hur det skall undvikas att verksamheten eller åtgärden medverkar till att en miljökvalitetsnorm enligt 5 kap. överträds,
3. de uppgifter som krävs för att påvisa och bedöma den huvudsakliga inverkan på människors hälsa, miljön och hushållningen med mark och vatten samt andra resurser som verksamheten eller åtgärden kan antas medföra,
4. en redovisning av alternativa platser, om sådana är möjliga, samt alternativa utformningar tillsammans med dels en motivering varför ett visst alternativ har valts, dels en beskrivning av konsekvenserna av att verksamheten eller åtgärden inte kommer till stånd, och
5. en icke-teknisk sammanfattning av de uppgifter som anges i 1-4.”

Av mera tekniskt intresse är dels punkt 2 med ”*de åtgärder som planeras för att skadliga verkningar skall undvikas*” samt punkt 3 med ”*att påvisa och bedöma den huvudsakliga inverkan på människors hälsa [och] miljön*”.

Även i de fall när ingen ansökan erfordras är det lämpligt att anläggningsägaren ändå för sig själv säkerställer att rågången till det otillåtna och olämpliga ur miljösynpunkt är tillräckligt stor. I det följande görs därför ingen skillnad i framställningen för de två fallen även om självfallet underliggande undersökningar och dokumentation (i allmänhet) blir mer omfattande i de fall när en MKB fordras.

Miljöredovisningen kan antingen vara projektspecifik eller generell i viss mening. I det förra fallet kan redovisningen gälla en viss vägsträcka, grundläggning, dammbyggnad eller liknande. I det senare fallet görs en ”produktifiering” av aska, d v s man blandar och hanterar aska tills den får vissa tilltänkta egenskaper, varefter den kan användas för vissa specificerade ändamål och kanske också med vissa begränsningar när det gäller typ av mark (t ex ej känslig markanvändning).

I båda fallen behöver olika frågor beskrivas. Betoningen av olika aspekter i sådana beskrivningar är beroende av om tillämpningen är projektspecifik eller inte. En checklista med typer av frågor som kan tänkas ingå är som följer[44]:

- *Problemformulering.* Syftet är att identifiera potentiella miljöstörande egenskaper, spridningsvägar och störningar
- *Beskrivning av materialet.* Fysikaliska egenskaper, miljöfarlighetsegenskaper (jfr avfallsförordningen, SFS 2001:1063) samt innehåll av olika ämnen (jfr [32])
- *Beskrivning av scenarier.* Användningssätt och olika tänkbara evolutionsmönster med hänsyn till geotekniska, hydrogeologiska och biologiska förhållanden.

- *Val av kritiska ämnen och kritiska påverkanspunkter* (alternativt konstaterande av att sådana inte kan identifieras). Formulering av konceptuella<sup>7</sup> modeller.
- *Utvärdering av eventuell påverkan*. Utförande av risk-/säkerhetsanalys av lämplig omfattning. Eventuellt förekommande transportberäkningar.
- *Riskvärdering*<sup>8</sup>.
- *Riskhantering*<sup>9</sup>.

Redovisningen enligt ovan bör integreras med de regler som redovisas i avsnitten 5.3 – 5.7 ovan, det vill säga följande:

- avfallsförordningen i kombination med Kemikalieinspektionens föreskrifter och allmänna råd kring klassificering och märkning av kemiska produkter
- EU:s förslag till regler för klassificering av avfall vilket i hög grad baseras på standardiserade laktest
- Naturvårdsverkets rekommendationer om förorenad mark
- Naturvårdsverkets rekommendationer om sjöar och vattendrag samt om grundvatten
- Skogsstyrelsens föreskrifter om askåterföring (som jämförelse)

---

<sup>7</sup> D v s hur förloppet går till i princip, inte hur man utför modelleringen.

<sup>8</sup> Med riskvärdering avses följande enligt [44] ”Riskvärdering inbegriper att beräknad påverkan vid kritiska punkter jämförd med redan uppställda kvalitetskriterier. Dos-respons data ingår i denna utvärderingsdel.”

<sup>9</sup> Med riskhantering avses följande enligt [44] ”Generell nivå för acceptabel påverkan på natur och människa måste ställas upp av myndigheterna och ingår ej i denna studie. Dessa nivåer utgör grunden för samhällets val av risknivå.”

## 6 GEOTEKNISKA FRÅGOR

### 6.1 Inledning

Vid förläggning av fjärrvärmerör i Sverige används i allmänhet naturmaterial eller krossat berg med höga andelar sand och grus. Jordmaterialet ligger an mot ledningens ytterrör och friktionen i denna kontakt blir vanligen tillräckligt hög för att de båda ytorna skall röra sig tillsammans när systemet utsätts för mekaniska påkänningar, p g a temperaturvariationer hos fjärrvärmevattnet.

En viktig punkt i sammanhanget är rörböjar. I anknytning till dessa rör sig ytterrör och omgivande mark var för sig, vilket leder till förhöjda påkänningar på en del av rörböjen samt anknytande rör.

Bakgrunden till den mekaniska och termisk-mekaniska funktionen i ett fjärrvärmenät finns beskriven i [3,4-5,47-62].

Som närmare framgår i det följande är det relativt noga reglerat hur en förläggning skall utföras [5,47-48].

Byte till jordmaterial med kanske andra egenskaper kan därför inte göras utan särskild analys. Det är två typer av frågor som behöver besvaras:

- 1 Kan askmaterial användas på ett sådant sätt att alla funktionskrav samt normer och standarder uppfylls?
- 2 Kan askmaterial erbjuda fördelar jämfört med naturligt jordmaterial och krossat gråberg?

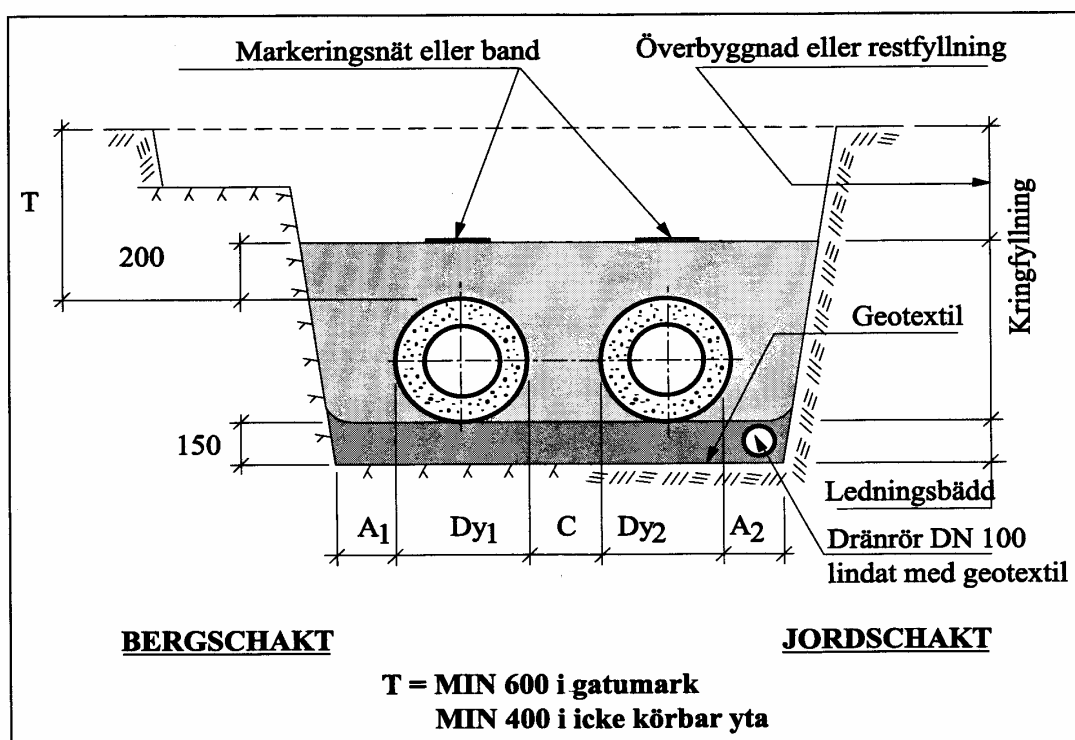
Dessa frågor kommer att belysas i det följande.

### 6.2 Utformning av ledningsförläggning

Hur markanläggningar för fjärrvärmedistribution skall utformas finns beskrivet i Svenska Fjärrvärmeföreningens ”Läggningsanvisningar för fjärrvärmerör” [47] samt i AnläggningsAMA 98 [5,48]. Det finns två huvudtyper av förläggningssätt, fasta system och flexibla system. Vidare finns fjärrvärmerören i två huvudtyper enkelrör och dubbelrör.

För denna rapport har fast system med enkelrör valts som referenssystem, se Figur 1. Valet har gjorts av praktiska skäl för enkelhet i framställningen.

Som framgår av figuren består fyllningen av rörgraven av ledningsbädd, kringfyllning och resterande fyllning.



**Figur 1.** Fast förläggning med enkelrör; referenssystem i denna rapport. Figur hämtad från [47].

**Figure 1.** Static design of single pipes inside a trench; reference system in the present report. The figure is from [47]

Som framgår av Figur 1 vilar materialet mot en ledningsbädd vars material packats. Största kornstorlek är 16 mm. Om krossmaterial ingår gäller 8 mm.

I ledningsbädden ingår en dränageledning. Syftet med denna är att hålla schaktgraven fri från vatten under byggnadstiden samt att minska värmeförlusterna under drifttiden. Som närmare framgår av avsnitt 6.4 bidrar dräneringen också till att säkerställa att tillräcklig friktion erhålls mellan ledningar och jordmaterial.

Kring rören och till en nivå minst 200 mm över rörens högsta nivå fylls med kringfyllnadsmaterial. Detta skall ha en största kornstorlek på 16 mm. Materialet får innehålla högst 10 % partiklar mindre än 0,1 mm och graderingstalet  $C_u$  skall vara  $> 2$ . Det senare betyder att den siktstorlek för vilken 60 % passerar skall vara minst två gånger större än den siktstorlek för vilken 10 % passerar. Med denna bestämmelse säkerställs att materialet innehåller en tillräckligt bred partikelstorleksfördelning så att en god packning erhålls (och små sättningar). Bestämmelsen om andel finfraktion säkerställer dels att en god dränering erhålls, dels att materialet kan kompakteras.

Vid fast förläggning skall kringfyllnadsmaterialets egenskaper samt packningen vara sådana att en friktionskoefficient på minst 0,4 säkerställs (vilket svarar mot en friktionsvinkel på 22 grader). Detta krav klaras inte av alltför finkorniga material utan innebär i praktiken att en viss andel grövre

material bör ingå. Lämplig andel är emellertid starkt beroende av kornens form, varför inga bestämda gränser för detta ges i [47]. Krossat material ger mycket högre friktion än naturmaterial och sådana uppfyller kravet på friktionskoefficient med uppåt 100 % marginal [56,59].

### 6.3 Jordmaterial och jordmekanik

Många av ett jordmaterials egenskaper styrs av kornstorleksfördelningen (graderingen). Numera görs indelningen i kornfraktioner enligt Tabell 9.

**Tabell 9.** Kornfraktion. Partiklar som ligger inom ett visst intervall. Från [5]

**Table 9.** Grain fractions. Particles within certain intervals. From [5]

Huvudgrupper	Kornstorlek mm	Undergrupper	Kornstorlek mm
Sten	600 – 60	Grovsten	600 – 200
		Mellansten	200 – 60
Grus	60 – 2	Grovgrus	60 – 20
		Mellangrus	20 – 6
		Fingrus	6 – 2
Sand	2 – 0,06	Grovsand	2 – 0,6
		Mellansand	0,6 – 0,2
		Finsand	0,2 – 0,06
Silt	0,06 – 0,002	Grovsilt	0,06 – 0,02
		Mellansilt	0,02 – 0,006
		Finsilt	0,006 – 0,002
Ler	0 – 0,002	Finler	0 – 0,0006

Partiklar binds löst till varandra genom ytkrafter. Dessa har liten betydelse från sandstorlek och uppåt vilket bland annat innebär att det går bra att sikta sådana material. Silt- och lerfraktioner separerar man däremot knappast med konventionell siktning. Däremot kan de särskiljas från grövre material med hjälp av vindsiktning. I jordmaterial som innehåller silt och lera binds även de grövre kornen samman och jordmaterialet får en viss draghållfasthet, kohesion.

Kornstorleksfördelningen har stor betydelse för möjligheterna att packa ett material. Sand- och grusmaterial går bra att packa medan silt- och lermaterial har en högre inre sammanhållning som är svår att bryta genom kompaktering. Som tidigare nämnts blir packningen effektivare om materialet har en lämplig gradering (kornstorleksfördelning) så att små korn passar i utrymmena mellan stora korn.

Vattengenomsläppligheten – dränerbarheten – är god för sand och grus men dålig för silt och lera.

Ett jordmaterial kan genomgå tre typer av förändringar: elastisk deformation, plastisk deformation och glidning utmed en ”brott”yta.



Villkoren för elastisk deformation kan i det enkla fallet (isotrop material) beskrivas med två parametrar, t ex kompressionsmodulen B och elasticitetsmodulen E. En tredje parameter används också ofta, Poissons tal  $\nu$ . Detta kan uttryckas med hjälp av de två andra enligt följande formel:

$$\nu = (3B-E) / 6B \quad (1)$$

Jordmaterial innehållande diminuerat kristallint berg, d v s sand och grus, uppvisar ett högt motstånd mot deformation. De deformeras knappast alls plastiskt utan uppvisar sprött brott vid höga belastningar. Skälet till denna obenägenhet till deformation är dels att materialet i kornen är mycket hårt, dels att kornen är mycket kantiga vilket ger en hög inre friktion<sup>10</sup>.

Omvandlat - d v s vittrat - material, är vanligen finkornigare och uppvisar egenskaper som dels hänger samman med bulkegenskaperna, dels med finkornigheten. Kort kan sägas att motståndet mot deformation ofta är lågt och att det inte sällan handlar om plastisk deformation. Här finns också ofta ett tidsberoende, som innebär att det utvecklas en kvarstående deformation över tid. Denna hänger ofta samman med konsolidering, d v s att kornen i materialet binder till varandra så att materialet får en viss draghållfasthet.

Förekomsten av draghållfasthet har stor praktisk betydelse i samband med förläggning eftersom den innebär att rörgravar kan grävas utan att kanterna rasar.

Ett jordmaterials skjuvegenskaper har också mycket stor betydelse i samband med rörförläggning. Förhållandena är egentligen analoga med dem som gäller för två kroppar med plana ytor som glider i förhållande till varandra. Här kan en vinkel definieras vid vilken glidning nått och jämt kan komma till stånd. I en jordmassa ges tangens av denna vinkel av friktionskoefficienten, d v s förhållandet<sup>11</sup> mellan skjuvkraften per ytenhet för ett tänkt ”brott”plan och normaltrycket. Därutöver tillkommer den sammanhållning av jordmaterialet som följer av konsolideringen (och som alltså ger ett skjuvmotstånd även utan normaltryck). Sambandet kan skrivas

$$\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg} \phi \quad (2)$$

där

$\tau$  = skjuvhållfastheten,

$c$  = kohesionen (d v s sammanhållningen när normaltrycket är noll),

$\sigma_n$  = normaltrycket (kallas egentligen normalspänningen), och

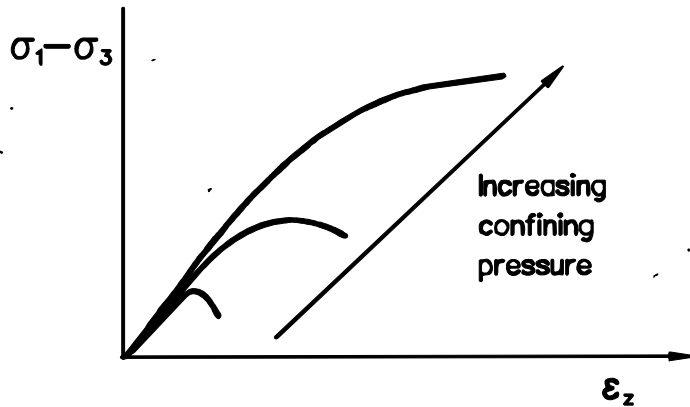
$\phi$  = friktionsvinkeln

En illustration av detta ges av hur materialdata tas fram med hjälp av triaxialtester. Dessa utförs i en utrustning i vilket provet i fråga – som är cylindriskt – kan utsättas för dels ett radiellt tryck, dels ett axiellt. Påkänningarna i radiell ledd blir då lika medan belastningen i axiell ledd blir högre. Genom att huvudspänningarna är olika uppkommer skjuvkrafter i provet i plan som bildar viss vinkel mot huvudaxeln. Detta kan utnyttjas för att bestämma vid vilka kombinationer av skjuvning och normaltryck som brott uppkommer.[62]

<sup>10</sup> Jämför med skillnaden mellan att gå en gång med naturgrus jämfört med krossat bergmaterial.

<sup>11</sup> tangens för vinkeln = förhållandet mellan normaltrycket och skjuvkraften per ytenhet

I Figur 2 visas typiska/principiella samband från triaxialtest; differentiella påkänningen (axiala spänningen minskad med inneslutningstrycket) som funktion av den axiella töjningen. De olika kurvorna svarar mot olika inneslutningstryck. [63]



**Figur 2.** Triaxialprovning; differentiella påkänningen (axiala spänningen minskad med inneslutningstrycket) som funktion av den axiella töjningen vid tre olika inneslutningstryck.

**Figure 2.** Triaxial testing; The differential stress (axial stress minus confining pressure) versus axial strain at three different confining pressures.

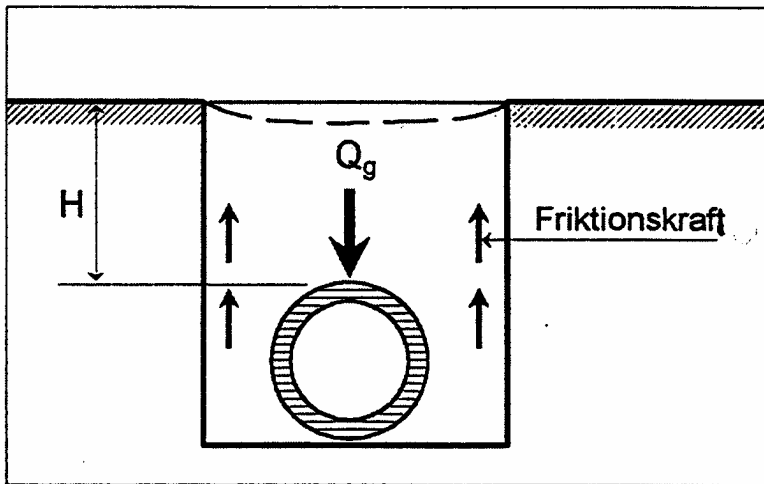
Som framgår av figuren ökar skjuvhållfastheten med ökat marktryck.

## 6.4 Mekanisk växelverkan med omgivande mark utan temperatureffekter

### *Icke kompakterad fyllnad*

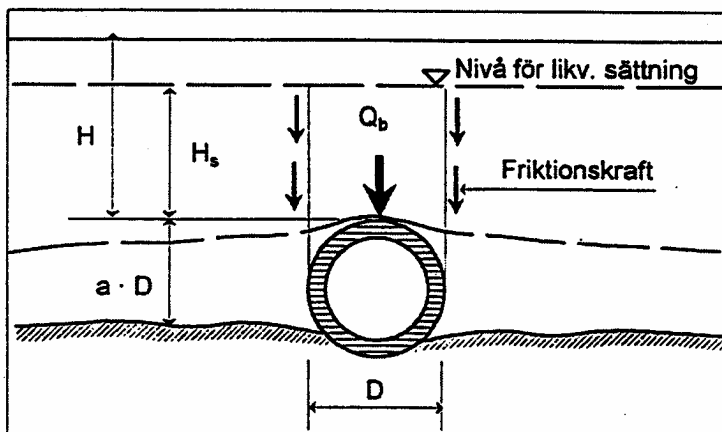
Man kan skilja mellan *djupa och smala* respektive *breda och grunda* rörgravar när det gäller mönstret för hur marken sjunker kring en ledning.

I smala och djupa gravar hindras nedsjunkning av den ifyllda jorden av friktionen mot väggarna. Belastningen mot ledningen blir därmed lägre än vad som svarar mot ovanförliggande jordmassor (beträffande effekten av geometrin kring ytterröret, se nedan). Situationen illustreras i Figur 3.



**Figur 3.** Jordens belastning mot röret i fallet djup och smal rörgrav. Figuren hämtad från [58].

**Figure 3.** The strain of the soil on the pipe in the case of a narrow and deep excavation. The figure is from [58].



**Figur 4.** Jordens belastning mot röret i fallet bred och grund rörgrav. Figuren hämtad från [58].

**Figure 4.** The strain of the soil on the pipe in the case of a wide and shallow excavation. The figure is from [58].

I breda och grunda gravar styrs belastningen mot röret av hur jorden i en projektion ovanför ledningskanten trycks uppåt i förhållande till omgivande jord. Trycket mot yterröret blir här högre än vad som svarar mot ovanförliggande jordmassor. Situationen illustreras i Figur 4.

Växelverkan mellan yterröret och dess närmaste omgivning styrs i hög grad av rörets deformationsegenskaper i förhållande till dem hos den omgivande marken. Ett stelt rör (av t ex betong, tegel eller gjutjärn) erhåller väsentligt högre påkänningar än ett rör som kan deformerats något. I de flesta fall räknas polyetenrör till den senare kategorin.

Ingående beskrivningar av dessa fenomen återfinns i [52], se även [58].

Om kringfyllnad sker med grus som packas eller vibreras blir det knappast några sättningar efteråt och det påkänningsmönster som etablerats i samband med förläggningen kvarstår.

Om kringfyllnad sker med finare material är det särskilt viktigt att packning sker. För ett löst packat material sker konsolidering efteråt. Detta ger upphov till ett ökat tryck mot ledningen eftersom materialet runt sidorna av ledningen sjunker samman varvid trycket från ovanför liggande jordmassor preferentiellt riktas mot ledningen (p g a motståndet mot deformation / skjuvning).

Hopsjunkning av återfyllnad är ofta nära relaterad till närvaro av fukt och framförallt grundvattenytans läge. Om denna stiger över ledningens nivå (och återfyllnaden inte packats över en viss gräns) sker en snabb hopsjunkning av återfyllnadsmaterial.

Effekten av detta är delad. Dels uppkommer ett ökat tryck mot ledningen som en direkt följd av hopsjunkningen (enligt ovan), dels sker en ändring av partikeltrycket. Vid vattenmättnad minskar partikeltrycket till förmån för det hydrostatiska trycket. Det senare bidrar inte till friktionen mellan ledning och mark. Det minskade partikeltrycket uppkommer till följd av att kroppar som sänks ned i vatten får en tyngdminskning som svarar mot vikten av det undanträngda vattnet.

#### *Kompakterad fyllnad*

Ovan beskrivna situationer är kanske inte så vanliga i praktiken eftersom Svenska Fjärrvärmeföreningens lägningsanvisningar[47] anger att såväl ledningsbädd som kringfyllning skall packas samt att ledningsbädden skall innehålla dränering.

Tanken med detta är att val av jordmaterial i kombination med utförandet av packningen skall innebära att jordmaterialet i ledningsbädd och kringfyllning inte sätter sig ytterligare. Därmed etableras också jordtrycket från början, vilket som framgår ovan är viktigt för friktionen mellan röret och omgivande jordmaterial.

## **6.5 Mekanisk växelverkan med omgivande mark - temperatureffekter**

Framställningen i det följande grundar sig bl a på [55,58,60-61].

Vid temperaturändring antas mediaröret kunna utvidga sig i radiell ledd utan att ytterröret ändrar dimension i grad av betydelse.

I axiell ledd sker expansion och kontraktion i stort sett efter värmeutvidgningskoefficienten för stål såvida inte ytterröret är fast förankrat i förhållande till omgivande jordmaterial, vilket är normalfallet. Då uppkommer i stället tryckpåkänningar i röret vid uppvärmning och

dragpåkänningar vid avkyllning. En kort sträcka vid böjar kan emellertid ha glidande kontakt mellan ytterrör och omgivande mark.

Detta innebär större påkänningar i anslutning till rörböjar än i andra delar av rörsystemet. Påkänningarnas storlek beror dels av friktionen mellan mark och rör, dels av kompressibiliteten - och kanske också duktiliteten och kohesionen – hos jordmaterialet. Ju större friktionen är desto kortare sträcka rör sig rör och jord i förhållande till varandra och desto lägre påkänningar uppkommer i och kring rörböjen.

Friktionen mellan rör och omgivande jordmaterial beror i sin tur av produkten av jordtrycket och friktionskoefficienten.

Det är viktigt att belastningarna på rörböjar begränsas eftersom dessa annars kan ta skada. Belastningarna beror av faktorerna *förläggningssätt*, *jordtryck*, *friktionskoefficient* och *kompressibilitet*, vilka diskuteras i det följande.

Beroendet av *förläggningssättet* handlar om vid vilken temperatur hos mediarröret som den mekaniska kontakten med omgivande mark etableras. Vid kallförläggning är påkänningarna större jämfört med varmförläggning eftersom avvikelser från inspänningstemperaturen blir större.

Ett tillräckligt *jordtryck* säkerställs genom att jorden packas väl, dels så att den ligger an mot röret, dels så att den inte genomgår differentiella sättningar med lågbelastade områden som följd. Det är också angeläget att jordmaterialet är tillräckligt homogent längs en rörsträckning så att inte släppningar i friktionskontakten kan uppkomma ställvis.

Det är också viktigt att komma ihåg att det jordtryck som har betydelse för friktionen är det effektiva jordtrycket, d v s totaltrycket minus det hydrostatiska trycket. Vid förhöjd grundvattennivå minskar det effektiva jordtrycket vilket leder till lägre friktion.

*Friktionskoefficienten* beror av ytterrörets yta och av jordmaterialet. Inga uppgifter om betydelsen av ytegenskaperna hos ytterröret har påträffats i föreliggande studie. Friktionskoefficienten är högre om jordmaterialet har en oregelbunden kornform (d v s utgör krossmaterial i stället för naturmaterial) och en större kornstorlek.

Kornstorleken måste emellertid begränsas för att inte ytterröret skall skadas. Visserligen kan polyeten – som är den typ av polymer som ytterröret tillverkas av – genomgå mycket omfattande plastiska deformationer innan brott kommer till stånd, men detta gäller bara sådana deformationer som är snabba i jämförelse med tilltänkt livslängd.

Vid belastningar under plasticitetsgränsen under lång tid uppvisar polyetylen ett sprött beteende.[55] Därför är det viktigt att begränsa de påkänningar som verkar under lång tid. Ett viktigt exempel på sådana påkänningar är de punktlaster som uppkommer när grovkornigt material ligger an mot röret. Det är av detta skäl som Svenska Fjärrvärmeföreningens läggingsanvisningar [47] innehåller begränsningar i kornstorlek. Begränsningen är strängare för bergkross än för naturligt material.

Jordmaterialets *kompresibilitet* går knappast att påverka i normalfallet. Användande av mera finkornigt material är knappast tänkbart eftersom man vill ha en god kompakterbarhet och en god dräneringsförmåga. I huvudsak består aktuella jordmaterial av gråberg (kristallint berg, d v s gnejs och granit) i partikelform vilket innebär att väl kompakterad jord blir mycket hård.

## 6.6 Diskussion och slutsatser

Den viktigaste skillnaden mellan åldrad och härdad aska och material baserat på gråberg är att aska från träbränsle har en lägre hårdhet samt en viss duktilitet. (Gråberg har knappast någon duktilitet utan övergår direkt från elastisk deformation till sprött brott). Detta har betydelse för kompresibiliteten som blir högre. Detta uppges vara en viss nackdel i samband med användning av slaggrus som underlag för vägbyggnad [7,44,49,64-65] men kan eventuellt vara en stor fördel i samband med förläggning av fjärrvärmeledningar. Referens [60] betonar särskilt betydelsen av att jordmaterialet kring rörböjar är tillräckligt eftergivligt.

Påståendet i ovanstående stycke om träaskas hårdhet har följande grund. I den tribologiska litteraturen [66-67] redovisas hårdhet och andra materialegenskaper för ämnen med olika kemisk sammansättning och fasuppbyggnad. Med detta samt det som redovisas i avsnitt 4 som grund görs bedömningen att även askor från träbaserade bränslen bör ha en mycket lägre hårdhet än jordmaterial baserade på gråberg. Antalet experimentella undersökningar som finns redovisade i litteraturen är dock mycket få.

Som exempel på uppgifter som finns kan nämnas den nyligen utkomna [53] där sättningsmodulen<sup>12</sup> bestämts för några material. Resultatet redovisas i Tabell 10. Askan i tabellen är bottenaska från det biobränsleddade Bristaverket som har en cirkulerande fluidiserande bädd (CFB). Före provtagning hade askan legat utomhus i upplag minst tre månader.

I [53] bestämdes också friktionsvinkeln för samma aska vilken bestämts hjälp av triaxialtest. Friktionsvinklar för aska och ett par andra material redovisas också i Tabell 10.

Några uppgifter på friktionskoefficienten för aska gentemot ytterröret har inte påträffats. Förhoppningsvis följer denna den inre friktionen och skulle i så fall vara acceptabel med god marginal eftersom friktionskoefficienten för krossmaterial 0 – 8 mm har bestämts till 0,63 [59]. Det finns dock en viss osäkerhet kring vilken betydelse den mindre hårdheten hos askmaterialet har.

Dräneringsegenskaperna kan förväntas vara jämförbara mellan askmaterial och gråbergsbaserat material under förutsättning av att kornstorleksfördelningarna är lika.

---

<sup>12</sup> Sättningsmodulen = Kompressionsmodulen \*  $(1 + \nu)(1 - 2\nu)/(1 - \nu)$ , där  $\nu$  är Poissons tal (även kallad tvärkontraktionstalet)

**Tabell 10.** Friktionsvinkel och sättningsmodul för några geotekniska material, se text. Från [53].  
**Table 10.** Angle of friction and modulus of settlement for a few geotechnical materials, see text.  
From [53].

<b>Materialtyp</b>	<b>Kornstorlek mm</b>	<b>Friktionsvinkel °</b>	<b>E-modul MPa</b>
Bottenaska	0 – 6*	38	4,2 – 4,6
Bergkross	0 - 32	30 - 38	30
Rörgravsgrus	0 - 8	28 - 35	40

\* viktsmediankornstorlek ca 0,4 mm

# 7 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

## 7.1 Funktionskrav

Kringfylld kring ledningar behöver uppfylla följande krav på funktion:

- Allmänt:
  - Materialet skall vara tillgängligt i tillräckliga kvantiteter
  - Det skall vara tillgängligt vid den tid när det behövs
  - Materialet skall vara tillräckligt homogent så att det till alla delar innehåller aktuell kvalitet
  - Aktuell kvalitet skall innehållas i tillräcklig utsträckning under installationens drifttid
- Eventuell negativ påverkan på miljö och hälsa skall vara obetydlig. Detta innebär följande:
  - Materialet skall inte kunna klassas som farligt avfall enligt avfallsförordningen
  - Totalhalterna av potentiellt miljöstörande ämnen (tungmetaller, dioxin och PAH) skall understiga vissa takvärden (som dock återstår att fastställa)
  - Vattentillgängligheten av potentiellt miljöstörande ämnen (tungmetaller, dioxin och PAH) skall understiga vissa takvärden (som dock återstår att fastställa)
  - Takvärdena avseende totalinnehåll och vattentillgänglighet skall vara anpassade till aktuell tillämpning
- Påverkan på ledningen skall vara obetydlig. Detta innebär följande:
  - materialet skall ha lämpliga kompakteringssegenskaper, vilket innebär att
  - + en god packning erhålls vid kompaktering så att materialet blir tillräckligt styvt samt utövar ett tillräckligt marktryck på ledningen
  - + en tillräcklig eftergivlighet erhålls – särskilt i rörböjar - så att ledningen inte tar skada i samband med termisk expansion
  - materialet skall vara tillräckligt dränerande
  - materialet får inte skada ledningen genom punktpåkänningar (bl a skall det vara fritt från sten)
  - friktionskoefficienten mellan materialet i fråga och ledningen skall vara tillräckligt hög så att tillräcklig friktion erhålls vid förekommande packning och jordtäck
  - materialet skall inte ha sådana sättningsegenskaper som i aktuell tillämpning kan ge upphov till oönskade differentiella sättningar
  - materialet i fråga skall ha sådana inre friktionsegenskaper (packningsegenskaper) att ingen oönskad mekanisk belastning uppkommer på ytterröret
- Materialet skall ha tillräcklig bärighet i förhållande till aktuell markanvändning (t ex väg)

Det bör påpekas att ovanstående krav i viss mån kan vara motstridiga. Exempelvis erfordras ett visst marktryck för att det skall uppstå en tillräcklig friktion mellan ytterrör och omgivande material. Samtidigt kan en kraftig packning av kringfylldsmaterialet ge upphov till oönskat höga osymmetriska krafter mot ytterröret.



## 7.2 Möjligheter till tillämpningar

### 7.2.1 Systemutformning

En av de viktigaste aspekterna inför en tilltänkt användning av aska för fyllning<sup>13</sup> i rörgravar för fjärrvärmenät är planering av entreprenaden. Redan vid användning av befintliga jordmaterial eller material som hela tiden finns tillgängliga på marknaden krävs en planering som omfattar åtminstone ett stort antal månader. Bland annat behöver upphandling göras av olika entreprenadarbeten och det behöver därför vara känt hur installationen skall gå till i detalj vid upphandlingstillfället.

Vid användning av aska som fyllnadsmaterial skärps kraven på framförhållning främst genom att åldrings- och mognadsprocesserna bör få ta tid, men också genom att särskilda utredningar kan erfordras beträffande de geotekniska egenskaperna samt beträffande eventuell miljöpåverkan.

För dessa behövs tillgång till tillräckligt stor hårdgjord yta. På denna läggs den aska upp som valts för användning som fyllnad. Uppläggningsen sker i strängar med någon meters mäktighet. Det är viktigt att dessa strängar har sådana egenskaper att vatten kan perkolera genom dem och att luft kan blåsa igenom. Därför är det troligen nödvändigt att materialet ”vänds” vid något eller några tillfällen under den tid som mognaden pågår.

Miljöfrågor kring utläckage av salt bör beaktas. Det är dock väl känt från olika undersökningar som utförts inom renhållningsbranschen att miljöpåverkan av salt är mycket marginell under vinterhalvåret, vilket är den tid när utläckaget kan förväntas pågå.

Mognadsprocessens fortskridande övervakas genom bl a mätning av lakvattnets ledningsförmåga och pH-värde.

Genom detta kan man dels undvika att alkaliska ämnen och salter sprids från kringfyllnaden till omgivande mark (miljöstörning), dels åstadkomma att en lämplig miljö ur material- och korrosionssynpunkt erhålls kring fjärrvärmeröret.

När mognadsprocessen gått tillräckligt långt kan materialet krossas och siktas. Krossningsoperationer fungerar på det sättet att andelen finfraktion blir relativt hög.

Finfraktionen kan användas som inblandning i resterande fyllning (den översta, se Figur 1) tillsammans med annat jordmaterial samt rötslam, kompost, träflis m m. Finfraktionen kan också återföras och blandas med färsk aska som är reaktiv. Genom de åldrings- och mognadsprocesser som denna aska genomgår kommer finfraktionen att ingå i nytt material med grövre storlek.

Material med lämplig gradering, d v s i huvudsak material med kornstorlek i intervallet 0,1 – 8 mm kan användas i ledningsbädd (nederst i rörgraven, se Figur 1) och som kringfyllnad (som ligger kring rören samt mellan ledningsbädd och resterande fyllning). Som närmare beskrivs i avsnitt 7.2.4

<sup>13</sup> Benämningen ”fyllning” är egentligen missledande genom att det anger att materialet skulle vara passivt. I själva verket skall fyllningen fylla ett antal krav på funktion vilket dock framgår av rapporten i övrigt.

kan viss justering av blandningsförhållanden och egenskaper behöva göras. Eventuellt kan friktionshöjande material behöva blandas in.

Användning av aska innebär således vissa förändringar jämfört med ”konventionell” förläggning, vilket bör planeras i ett tillräckligt tidigt skede. Exempelvis behöver detaljer kring askhanteringen ingå i samband med upphandlingen av förläggningentreprenaderna.

I samband med entreprenadarbetena bör observeras att askans kompakteringsegenskaper kan avvika från dem hos vanliga jordmaterial med jämförbar gradering.

För försöksverksamhet i fullskala gäller följande. Provtagning av grundvatten görs innan entreprenaden utförs så att situationen före eventuella störningar dokumenterats. I samband med entreprenaden installeras anordningar för provtagning av dränagevatten. Dessa prover utnyttjas för miljökontroll efter det att anläggningen tagits i bruk, se avsnitt 7.2.3.

Inför entreprenaden samt före sådan materialhantering som innebär möjligheter till in- och omblandning tas prov och görs geotekniska mätningar samt miljömätningar enligt en särskild plan. Dessa mätningar innefattar kompressionsegenskaper, friktionsegenskaper, innehåll av potentiellt miljöstörande ämnen samt lakning.

## **7.2.2 Aska**

Aska väljs med utgångspunkten att få fördelaktiga geotekniska egenskaper samt en enkel miljöredovisning.

Det kunde ur geoteknisk synpunkt vara frestande att rekommendera bäddsand och bottenaska eftersom de i färskt tillstånd är de som mekaniskt sett är minst olika material baserade på gråberg. Flygaska och rökgasreningsprodukt kan emellertid genom sin kalkverkan binda annat material vilket också är gynnsamt. Trots att en stor mängd rapporter har genomgått inom ramen för föreliggande uppdrag har någon närmare information kring denna frågeställning inte påträffats. Bedömningen är därför att det är lämpligt att göra försök i full skala med olika sorters askor för att redovisa och klarställa de samband som kan finnas.

Ur miljöredovisningssynpunkt är det naturligtvis enklast om en sådan aska kan användas som innebär att den inte rimligen bör kunna klassas som ett avfall. Som redovisats ovan är detta fallet om bränslet innehållit rent trä. Redovisningen behöver emellertid inte bli särskilt mycket mera komplicerad om askan kan klassas som inert avfall enligt de förfaranden som redovisas i avsnitt 5.

Askan liksom ett tilltänkt projekts omfattning bör väljas så att projektet blir tillräckligt stort för att ge den information som behövs. Exempelvis kan det vara viktigt att pröva tekniken för varierande markförhållanden. Samtidigt behöver projektet vara tillräckligt litet för att en tillräcklig mängd aska med tilltänkta egenskaper kan erhållas och hanteras.

### 7.2.3 Miljökvalificering

Inför myndighetskontakter samt en eventuell ansökan bör följande omständigheter klarställas:

- Det första projektet är en försöksverksamhet vilket innebär att erfarenhetsdata beträffande miljöpåverkan saknas. Om askan är alltför ren erhålls mindre information (eventuellt ingen) om hur miljöstörande ämnen kan spridas i samband med aktuell tillämpning.
- Aktuell mark ligger inom stadsplanerat område och förutses knappast bedömas känslig ur miljösynpunkt.
- I rörgraven finns dränering som är kopplad till kommunens dagvattenledning. Detta bedöms innebära att någon nedsmutsning av omgivande mark knappast kan bli särskilt aktuell. Genom mätningar av dränagevattnet erhålls underlag för väsentligt förbättrade miljöbedömningar inför eventuella nya projekt.
- Det första projektet blir också en slags demonstration av hur miljövärdering och miljökvalificering kan utföras med hjälp av de instrument som redovisas i avsnitt 5.
- Det råder en osäkerhet beträffande vilka lakegenskaper som kan förväntas hos askan efter mognad. Här finns data som upptagits för det aktuella syftet i huvudsakligen för bottenaskor från avfallsförbränning. Olikheter i kemisk sammansättning mellan avfallsaskor och träbaserade askor är emellertid relativt stora liksom skillnaderna mellan olika typer av träbränslebaserade askor, vilket diskuterats närmare i avsnitt 4. Detta innebär att det först i ett sent skede i projektet, d v s när askan har mognat, går att mera precist bestämma lakegenskaperna.

Det finns ingen enskild enkel bestämmelse som reglerar tillståndsgivningen, utan i stället behöver ett antal bestämmelser beaktas. .

En första fråga är om askan skall betraktas som avfall eller inte (enligt miljöbalken). För ren skogsaska torde detta inte vara fallet men det kan kanske ändå vara klokt att nämna denna fråga till den aktuella tillsynsmyndigheten.

Aska från återvinningsbränslen torde i normalfallet betraktas som ”avfall”. För hantering av avfall gäller bl a avfallsförordningen. Aska som används för något specifikt ändamål – till exempel kringfyllnad kring fjärrvärmerör – är emellertid inte ”avfall”. Däremot anvisar avfallsförordningen en grund för bestämning av en askas farlighet (med syfte på deponering). Det är därför troligt att en aska som enligt avfallsförordningen skulle bedömas som ”farlig” knappast kommer att få användas geotekniskt.

Klassningen i kategorierna farligt avfall – icke farligt avfall enligt avfallsförordningen sker i första hand efter avfallsslag (se Tabell 2). Exempel på avfallsslag som inte är farligt avfall är kalciumbaserade rökgasreningsprodukter (fast form samt slam) samt sand från fluidiserade bäddar.

För aska från återvinningsbränslen gäller så kallade dubbla ingångar, d v s klassning sker efter om askan innehåller farliga ämnen eller inte. En sådan klassning kan göras med hjälp av Bilaga 3 i avfallsförordningen samt Kemikalieinspektionens författningar om märkning av kemiska produkter.

I Bilaga 3 redovisas också testmetoder (lakteter, se Tabell 4) som ger de olika egenskapsangivelserna en specifik betydelse. Dessa avser Indelning i kategorierna farligt avfall, icke farligt avfall och inert avfall. Denna indelning är i första hand relevant för hur avfallet skall hanteras och är alltså inte direkt tillämpbar med avseende på tillåtlighet i samband med kringfyllnad kring ledningar.

EU:s acceptanskriterier för deponier är i första hand relevanta för om en viss post avfall skall destinerats till en deponi för farligt avfall, icke farligt avfall eller inert avfall. Dessa är alltså inte heller direkt tillämpbara med avseende på tillåtlighet i samband med kringfyllnad kring ledningar.

Däremot kan dessa klassningskriterier användas som underlag för jämförelser och rimlighetsbedömningar.

Den bästa prognosen föreligger därför om en aktuell aska kan klassas som ”inert avfall”. Med ”inert avfall” avses avfall som inte genomgår några väsentliga fysikaliska, kemiska eller biologiska förändringar.

Naturvårdsverket har utfärdat rekommendationer om förorenad mark (se Tabell 5, 6 och 7). Det förefaller lämpligt att aska som skall användas geotekniskt har väsentligt bättre miljöegenskaper än sådan mark som behöver saneras. Som exempel på gränsdragning som tillämpats av länsstyrelser kan nämnas att tillstånd lämnats för att lägga förorenade massor på en klass 3 deponi (motsvarar deponi för inert avfall) om föroreningsnivån understiger den för mindre känslig markanvändning.[69]

Skogsstyrelsen har utfärdat föreskrifter om askåterföring och rekommenderade högsta halter av olika potentiellt miljöstörande ämnen återges i Tabell 8. En jämförelse bör göras med dessa halter. De bör dock kunna överskridas i det aktuella fallet eftersom förutsättningarna för miljöstörning i övrigt är mycket mindre.

Kontakt bör tas med tillsynsmyndigheten för att utröna om tillstånd krävs enligt miljöbalken. Om så är fallet krävs även en miljökonsekvensbeskrivning. En sådan skall innehålla vissa punkter som närmare framgår av avsnitt 5.8.

Mera konkreta beskrivningar om hur miljökvalificeringen kan göras återfinns i avsnitt 5.8.

## **7.2.4 Geoteknik**

Även när det gäller de geotekniska egenskaperna är det svårt att förutse mera precist vilka de blir innan askan åldrats och mognat. Detta betyder att en beredskap behöver finnas dels för att karakterisera askan inför den tilltänkta användningen, dels för eventuell modifiering av egenskaperna genom inblandning med annat material.

Det bör samtidigt påpekas att de tilltänkta operationerna siktning och vindsiktning samt den med dessa operationerna sammanhängande hanteringen ger mycket goda möjligheter till justering av

egenskaper dels genom lämplig kombination av askfraktioner, dels genom inblandning med annat material.

Detta ger möjligheter till en delvis annan strategi jämfört med användning av befintligt material. I det senare fallet kontrollerar man att materialet i fråga inte överskrider vissa gränser, men det tillåts variera inom stora intervall. Med goda möjligheter till justering och homogenisering finns förutsättningar för att ”skräddarsy” det material som skall användas utan stora extra kostnader.

Det kan därför vara värdefullt inför ett fullskaleförsök att närmare beakta frågan om geoteknisk dimensionering, exempelvis vilka kompressionsegenskaper som skulle vara optimala.

Det är också tänkbart att askmaterial – genom sin lägre hårdhet – kan användas i grövre gradering än annat krossmaterial.

### **7.2.5 Distributionspersonalens synpunkter**

När det gäller användning av askor i ledningsgravar finns en naturlig ovilja att hantera dessa hos de som bygger ut fjärrvärmenäten, även om de rent mekaniska egenskaperna skulle vara uppfyllda.

Askor kan innebära försämrad arbetsmiljö. Man är familjär med sand och konventionella fyllnadsmassor, men askor är ett okänt kapitel hos denna personalkategori. Det är heller inte givet att kunderna/markägarna önskar få olika typer av askor i sin mark. Med aska förstås ju i allmänhet inte något som är rent och fint. Nytvättade lakan kunde tvärtom bli nedsmutsade och aska skulle på detta och liknande sätt kunna förorsaka branschen direkt badwill. Man är mycket negativt inställd till att få in ett på ett eller annat sätt kontaminerat material i rörgravarna. Negativ miljökritik för den miljövänliga fjärrvärmen måste undvikas.

I dag strävar man dessutom generellt efter att i första hand använda befintliga massor för att minimera transporter och kostnader för deponering respektive anskaffning av nytt material. Aska är trots allt inget hokus pokus, utan liknar andra naturliga jordmaterial, dock med annorlunda vidhäftningsegenskaper. Aska är således något som måste introduceras med stor varsamhet.

Naturligtvis måste man även ta hänsyn till vilken typ av mark som fjärrvärmerören läggs i. Gatumark i innerstad är redan kontaminerad av trafiken. Påverkan från askor torde där ha mindre betydelse än i jungfrulig mark ute i grönområden i ytterområden.

### **7.3 Slutsatser**

Förstudien har i sammandrag resulterat i bland annat följande slutsatser:

#### *Allmänt*

- Inga tekniskt eller juridiskt diskriminerande faktorer har påträffats eller kunnat identifieras under denna förstudie

- Kvarstående osäkerheter beträffande tillämplighet avser i första hand följande:
  - distributionspersonals tveksamheter kring ett för dem nytt och okänt material
  - mognadsprocessen och den behandlade askans kompakterings- och friktionsegenskaper i förhållande till tänkbara förläggningssätt
  - komplexiteten med avseende på miljöbedömning
  - perceptuella aspekter (d v s om den aktuella tillämpningen upplevs som mindre lämplig eller passande)
- Den ursprungliga ”hypotesen” var som följer
  - aska kan ha/ges egenskaper som är lämpliga för kringfyllnad kring fjärrvärmeledningar
  - kringfyllning med aska kring fjärrvärmerör kan tänkas utgöra en god förebild för askanvändning

### *Askan*

- Askor har starkt varierande egenskaper. Det bör därför finnas goda möjligheter att hitta askor med lämpliga egenskaper för varje enskilt fall.
- Askmaterial som skall användas för kringfyllnad bör kvalitetssäkras genom ”produktifiering”. Detta innebär att olika poster som uppkommer i samband med drift av förbränningsanläggningar blandas och homogeniseras så att konstanta och väldefinierade materialegenskaper erhålls.
- I samband med den hantering som ändå behöver göras kan askmaterialets egenskaper justeras till nära optimala. Detta innebär fördelar jämfört med befintligt material där i första hand möjligheterna står till buds att antingen acceptera eller förkasta aktuellt material, vilket bl a innebär större variationer.
- Före användningen behöver askan sannolikt behandlas och hanteras enligt följande
  - genomgå mognadsprocess: 3-6 månaders förvaring utomhus för utlakning av lösliga salter, omlagringsreaktioner och karbonatisering
  - homogenisering av olika askposter till stor volym med likartade egenskaper överallt
  - krossning och siktning samt eventuellt även blandning av olika siktfraktioner till önskade egenskaper
  - provtagning
  - kemisk karakterisering inklusive miljökarakterisering enligt nedan
  - geoteknisk karakterisering inklusive mätning av kornstorleksfördelning samt packnings- och friktionsegenskaper

### *Miljöaspekter*

- Tillräcklig miljövänlighet bör kunna uppnås enligt följande:
  - val av aska
  - utlakning av lösliga salter under mognadsperioden
  - fastläggning av miljöstörande ämnen under mognadsperioden
  - (möjligheter till) kontrollprogram
- Tillräcklig miljövänlighet bör kunna säkerställas enligt följande:
  - kemiska analyser
  - bestämning av lakegenskaper
  - jämförelser med takvärden för innehåll av potentiellt miljöstörande ämnen

- jämförelser med takvärden för utlakning av potentiellt miljöstörande ämnen
- uppföljning
- Frågan om tillstånd är något komplicerad eftersom enkelt tillämpbara regler saknas. Dock bör tillstånd kunna erhållas baserat på de olika regler som redovisats i avsnitt 7.2.3.

### *Geotekniskt*

- Ytterrörets funktion säkerställs enligt följande
  - Aska som används nära ytterröret är (krossad och) siktad så att stenmaterial ej kan förekomma
  - Lämpliga geotekniska egenskaper i kombination med lämplig packning av kringfyllnadsmaterialet
  - Lämpliga kompressionsegenskaper med hänsyn till termisk expansion av ledningen
- Tillräcklig friktion mellan ytterrör och omgivande material erhålls enligt följande
  - mätning av friktionskoefficient mellan ytterrörsmaterial och askor av aktuella kvaliteter, samt val av kvalitet/blandning
  - eventuell inblandning av annat jordmaterial för höjning av friktionen (bäddsand eller gjuterisand?)
  - val av utformning av tillämpningen med hänsyn till vald askkvalitet (inklusive metodik för kompaktering av askan kring ledningen)
- Tillräcklig bärighet erhålls dels genom den tilltänkta mognadsprocessen samt val av aska, dels genom att sådan tillämpning väljs för vilken kraven inte är höga (d v s eventuellt ej väg)

Den sammanfattande bedömningen av ovanstående är att träaskbaserat material bör ha lämpliga egenskaper för användning som fyllnad kring fjärrvärmerör. Inga diskriminerande faktorer har påträffats eller kunnat identifieras i denna förstudie. Den tilltänkta metodiken bedöms kunna innebära viktiga fördelar jämfört med användning av befintligt material (tekniskt) eller material baserat på gråberg (ekonomiskt). Med material baserat på gråberg avses naturligt eller krossat material som graderats. Följande frågor behöver särskilt beaktas

- mognadsprocesser i askan och med dessa sammanhängande logistiska förutsättningar
- miljöaspekter
- geotekniska aspekter
- behovet av försök i stor skala

### *Perceptuella frågor*

Tidigare har redovisats olika tekniska aspekter samt tillståndsfrågor. Användning av aska som kringfyllnad kan emellertid knappast tänkas komma till stånd med mindre än att även frågor kring hur tillämpningen uppfattas av olika grupper beaktas. Speciellt måste distributionspersonals oro och motvilja mot ett för dem okänt material hanteras med varsamhet. Här finns en befogad oro för att t ex allmänheten kan uppfatta användning av aska som att man stör miljön och sprider miljöstörande ämnen i stadsmiljön. Det är också tänkbart att vissa kan uppfatta användningen som positiv genom att material återanvänds och kommer att ingå i kretsloppet. Kanske kan man göra jämförelser med

andra tillämpningar, t ex att rötslam funnit användning i blomjord för kommunala planteringar och i gräsmattorna på golfbanor.

Denna rapport gör inte anspråk på att ge något svar på denna fråga utan i stället görs denna markering av frågans betydelse.

## **7.4 Rekommendationer**

Utgående från slutsatserna i föregående stycke ges följande rekommendationer.

Projektet föreslås fortsätta i enlighet med den strukturering som presenterats i avsnitt 2.1.1. ovan.

Försök i pilot/fullskala rekommenderas. Dessa kan utföras i enlighet med den redovisning som ges i avsnitt 7.2 med beaktande av de funktionskrav som redovisas i avsnitt 7.1.

Inför försök i full skala bör alltid särskilda motiveringar lämnas eftersom det ofta är billigare och enklare att få fram kunskap från informationssökning och studier i laboratorieskala än pilotskala och full skala. Det är viktigt att valet av skala är avhängigt av den kunskap man eftersträvar att få fram.

Det är också lämpligt att beakta de möjligheter som kan finnas till att kombinera storskaliga och småskaliga försök. Exempelvis kan det vara svårt att utföra relevanta test av åldring annat än i fullskala. Däremot kan geoteknisk och miljömässig utvärdering ske i reducerad skala (laboratorieskala eller bänkskala som hos Sveriges Forsknings och Provningsinstitut).

Skälet för att i nästa steg göra försök i fullskala är som följer.

- Det är svårt att simulera mognadsprocesserna i laboratorieskala. Material ligger utomhus med varierande tillgång till fukt och genomgår hydratisering, karbonatisering, mikrostrukturella omlagringar (d v s upplösning och utfällning preferentiellt i kornkontakter).
- Askans egenskaper varierar från gång till gång. Resultat från simulerad åldring i laboratorieskala är svåra att tillämpa annat än för generell kunskapsuppbyggnad (vilket naturligtvis i och för sig har sitt eget värde). Under tiden som den simulerade åldringen utförts har ju sannolikt den aktuella askposten använts eller åldrats på annat sätt. (Om den åldrats på samma sätt är det ju lämpligare att i stället använda aska som åldrats i fullskala).
- Om aska som åldrats i fullskala inte får optimala egenskaper för användning (se avsnitt 6.2 och 6.6) kan dessa modifieras genom den efterföljande hanteringen (krossning, siktning, blandning), inklusive inblandning av annat material (t ex friktionsmaterial). Att utveckla verktyg och arbetsmetodik med vars hjälp tillräcklig flexibilitet kan uppnås för detta bör vara en del av målsättningen för det fortsatta arbetet.
- Ger referens beträffande tillståndsarbetet



Mätning av innehåll av miljöstörande ämnen bör göras så snart askan genererats. I samband med mätningarna görs en grov miljöbedömning som ligger till grund för val av aktuell askpost för åldring. En mera precis miljöbedömning av askan – baserat på lakförsök (jfr avsnitt 5.8)- kan inte göras förrän åldring och mognad ägt rum.

Arbetet inriktas mot att ”produktifiering” skall tillämpas. ”Produktifiering” innebär att man tar fram större askposter med hög grad av homogenitet och väldefinierade egenskaper. I dessa större askposter kan lämpligen ingå flera små vilka blandats väl. För de försök som ingår i huvudstudien eftersträvas emellertid att finna en askpost med lovande egenskaper och lämplig storlek.

Geotekniska mätningar innefattar kompakteringsegenskaper samt friktionsegenskaperna vid kontakt med fjärrvärmeledningen.

## 8 REFERENSER

- 1 **Steenari B-M och Lindqvist O**  
*Stabilisation of biofuel ashes for recycling to forest soil.* Biomass and Bioenergy Vol 13, Nos ½ pp 39-50, 1997.
- 2 **Jermer J, Ekvall A och Tullin C, 2001**  
*Inventering av föroreningar i returträ.* Värmeforsk, Miljö- och förbränningsteknik, Rapport 732, 2001.
- 3 **Carling M och Hjalmarsson A-K, 1998**  
*Energiaskor för väg och anläggningsändamål.* EFO Energiaskor AB, 1998.
- 4 **Hjalmarsson A-K, Bjurström H och Sedendahl K, 1999**  
*Handbok för restprodukter från förbränning.* Fjärrvärmeföreningen, 1999.
- 5 *Anläggnings AMA 98 (1999).* AB Svensk Byggtjänst, Stockholm. ISBN 91-7332-885-5.
- 6 **Chandler A J, Eighmy T T, Hartlén J, Hjelm O, Kosson D S, Sawell S E, Van der Sloot H A and Vehlou J, 1997.**  
*Municipal solid waste incinerator residues.* Elsevier Science B.V. 1997. ISBN 0-444-82563-0.
- 7 **Dhir R K, Dyer T D and Paine K A, 2000**  
*Sustainable Construction: Use of incinerator ash.* Thomas Telford Publishing, 2000. ISBN 0-7277-2861-X.
- 8 **Sjöblom R, 2001**  
*Hypoteser och mekanismer för bildning av beläggningar innehållande zink och bly i samband med förbränning av returflis.* Värmeforsk, Miljö- och förbränningsteknik, Rapport 734, 2001.
- 9 **Maartmann S och Lundqvist J, 1998**  
*Fördelning av spårämnen mellan olika askfraktioner från förbränning av trädbränslen.* Energimyndigheten, Ramprogram askåterföring, ER 8:1998.
- 10 **Sloot H A van der, Kosson D S and Hjelm O**  
*Characteristics, treatment and utilization of residues from municipal waste incineration.* ECN, 1999. ECN-RX—99-017.
- 11 *Förbränning av avfall. En kunskapssammanställning om dioxiner.* Svenska Renhållningsverksföreningen, RVF Rapport 01:13, 2001.

- 12 Villumsen A**  
*Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) i bioaska från Örebro Kraftverk.* Institutionen för Naturvetenskap, Örebro Universitet, 2000.
- 13 Pavasars I**  
*Characterisation of Organic Substances in Waste Materials under Alkaline Conditions.* Linköping Studies in Arts and Science 196. Doctoral thesis, University of Linköping, 1999.
- 14 Fällman A-M, Eighmy T and Salaneck W R, 1999**  
*Aging reactions in residues.* Naturvårdsverket AFR-report 252, 1999.
- 15 Steenari B-M och Abbas Z, 2001**  
*Studier av metoder för stabilisering av sopförbränningsaska genom urtvättning av lösliga komponenter samt metoder för återvinning av metaller ur sådana askor.* Chalmers Tekniska Högskola, Avdelningen för Oorganisk Miljökemi, Report OOK 01:08, 2001.
- 16 Abbas Z, 1998**  
*Leaching Behavior of Residues from Municipal Solid Waste Combustion.* Göteborg University, Department of Inorganic Chemistry, Report OOK 98:05, 1998.
- 17 Abbas Z, Steenari B-M och Lindqvist O**  
*A study of Cr(VI) in ashes from fluidized bed combustion of municipal solid waste: leaching, secondary reactions and the applicability of some speciation methods.* Waste Management 21 (2001) 725-739.
- 18 Steenari B-M, 1998**  
*Chemical Properties of FBC Ashes.* Chalmers University of Technology, Doctoral Thesis. Department of Environmental Inorganic Chemistry, 1998. ISBN 91-7197-618-3.
- 19 Holmberg S, 2000**  
*Chemical and Mineralogical Characterisation of Granulated Wood Ash.* Licentiate Thesis. Göteborg University, Earth Sciences Centre, 2000.
- 20 Ecke H, Kylefors K och Lagerkvist A, 1997**  
*Karakterisering och omhändertagande av botten- och flygaska vid Dåvamyrans avfallsförläggning.* Luleå Tekniska Universitet, Avdelningen för Upplagsteknik, Rapport 1997:5.
- 21 Ecke H**  
*Carbonation for Fixation of Metals in Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Fly Ash.* Luleå University of Technology, Doctoral Thesis 2001:33.

- 22 Fällman A-M, 1995**  
*Characterisation of Residues. Release of Contaminants from Slags and Ashes.* Naturvårdsverket. AFR-report 86, 1995.
- 23 Carling M och Rogbeck J, 1995**  
*Tvättning av aska och slagg från avfallsförbränning – en litteraturstudie.* Svenska Renhållningsverksföreningen RVF, Avfallsförbränningsgruppens rapport nr 4 1995.
- 24 Bozkurt S, Moreno L and Neretnieks I, 1999**  
*Long-term processes in waste deposits.* The Sciences of the Total Environment 250 (2000) 101-121.
- 25 Allal K M, Dolignier J-C and Martin G**  
*Reaction mechanism of calcium hydroxides with gaseous hydrogen chloride.* Revue de l'Institut du Pétrole, Vol 53, No 6, Novembre-Décembre, 1998.
- 26 Abbas Z**  
*Leaching behaviour of MSW combustion ashes and modelling of solid-liquid interface.* Doctoral thesis. Chalmers Reproservice Göteborg 2002. ISBN 91-628-5183-7.
- 27 Hewlett P C, editor (formerly Lea)**  
*Chemistry of cement and concrete.* Butterworth-Heinemann, 2001. ISBN 0 340 56589 6.
- 28 Gerhartz W et al, editors**  
*Calcium sulfate.* Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. VCH Verlagsgesellschaft, 1985. ISBN 3-527-20104-1.
- 29 Kirk-Othmer, editor**  
*Calcium sulfate.* Encyclopedia of chemical technology, vol 4. John Wiley & Sons, 1992. ISBN 0-471-52672-x.
- 30 Bjurström H**  
Askvolym i Sverige. PM 2002-01-30. Svenska Energiaskor AB.
- 31**  
*Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödning.* Meddelande 2-2001, beställningsnummer 1518, Skogsstyrelsens Förlag, 551 83 Jönköping.
- 32 Harnevie H och Olvstam M L**  
Regelverk för eldning av returträflis. Värmeforsk, mars 2001, rapportnummer 718.

- 33 *Kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid avfallsdeponier..* Europeiska Unionens Råd. Beslut 14473/02, ENV 682. Bryssel den 10 december 2002.
- 34 *Generella riktvärden för förorenad mark: Beräkningsprinciper och vägledning för tillämpning. Efterbehandling och sanering.* Rapport 4638. Naturvårdsverket, Stockholm, 1997. ISBN 91-620-4638-1.
- 35 *Handlingsprogram för efterbehandling 1995.* Naturvårdsverket förlag, Rapport 4454, 1995. ISBN 91-620-4454-0.
- 36 *Efterbehandling av förorenade områden. Vägledning för planering och genomförande av efterbehandlingsprojekt.* Naturvårdsverket förlag, Rapport 4803, 1997. ISBN 91-620-4803-1.
- 37 *Åtgärdskrav vid efterbehandling. Vägledning för säkerställande av att acceptabla resthalter och restmängder uppnås - metoder och säkerhet.* Naturvårdsverket förlag, Rapport 4807, 1997. ISBN 91-620-4807-4.
- 38 *Lyftkranen – teknikdemonstration för efterbehandling. Ett utvecklingsprojekt för sanering av förorenad jord och sediment.* Miljöteknikdelegationen, Naturvårdsverket och Stockholms Stad, 1999. ISBN 91-620-5020-6.
- 39 *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet - grundvatten.* Naturvårdsverket, Rapport 4915, 1999.
- 40 *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet - sjöar och vattendrag.* Naturvårdsverket, Rapport 4913, 1999.
- 41 *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Metodik för inventering av förorenade områden; analys och testmetoder.* Naturvårdsverket, Stockholm, 1999. ISBN 91-620-4947-X.
- 42 *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Metodik för inventering av förorenade områden; vägledning för insamling av underlagsdata.* Naturvårdsverket, Stockholm, 1999. ISBN 91-620-4918-6.
- 43 *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet; Sjöar och vattendrag: bakgrundsrapport 1; kemiska och fysikaliska parametrar.* Naturvårdsverket, Stockholm, 1999. ISBN 91-620-4920-8.
- 44 **Hartlén J, Grönholm R, Nyström T och Schultz J, 1999**  
*Återanvändning av sekundära material inom anläggningsområdet.* Naturvårdsverket AFR-report 275, 1999.
- 45 **Hartlén J**  
Principles for risk assessment of secondary materials in civil engineering work. Naturvårdsverket, Stockholm, AFN-report 250. ISRN: AFR-R--250--SE.

- 46 Egnell G, Nohrstedt H-Ö, Weslien J, Westling O och Örlander G**  
Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen, rapport 1, 1998. Skogsstyrelsens förlag, beställningsnummer 1639.  
ISSN 1100-0295
- 47** *Läggningsanvisningar för fjärrvärmerör. Tekniska bestämmelser.* Svenska Fjärrvärmeföreningen, FVF D:211, Juni 2001.
- 48** *Råd och anvisningar till Anläggnings AMA 98 (1999).* AB Svensk Byggtjänst, Stockholm. ISBN 91-7332-886-3.
- 49 Bendz D, Flyhammar P, Hartlén J, 2000**  
*Restproduktanvändning vid anläggningsarbete och byggande för en hållbar infrastrukturutveckling.* Naturvårdsverket AFR-report 272, 2000.
- 50 Fällman A-M, Larsson L och Rogbeck J**  
*Slaggrus, miljömässiga och materialtekniska egenskaper.* Svenska Renhållningsverksföreningen. Statens Geotekniska Institut, 1999.
- 51 Stenberg F och Schouenburg B**  
Provningmetoder anpassade för återvinningmaterial - Kornstorleksfördelning. NORDTEST Prtojekt Nr 1292-96. SP Rapport 1997:08.
- 52 Moser A P**  
*Buried pipe design,* 2<sup>nd</sup> edition. McGraw-Hill, 2001.  
ISBN 0-07-043503-0.
- 53 Eriksson M**  
*Alternativa fyllnadsmaterial till ledningsgravar för VA.* Examensarbete 2001:26. Institutionen för mark och vattenteknik, KTH.
- 54 Mitchell J K**  
*Fundamentals of soil behaviour,* 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc., 1993. ISBN 0-471-85640-1.
- 55 Nilsson S**  
*On stone indentations in district heating pipes. Pipe and backfill interactions and life time aspects.* Chalmers Reproservice Göteborg 2000. ISSN: 1400-2728.

- 56 Schmitt F and Hoffmann H-W**  
*Reuse of excavated materials.* IEA District Heating and cooling, 1999: T3.3.
- 57 Penderos M**  
Thermal cycling of directly buried district heating networks – application of cumulative damage theory to some field cases. Institutionen för värme- och kraftteknik, Tekniska Högskolan i Lund, 1996. ISSN 0282-1990.
- 58 Molin J och Bergström G**  
*Direkt markförlagda böjar i fjärrvärmeledning.* Svenska Fjärrvärmeföreningen, Forskning och Utveckling, FOU 1996:7.
- 59 Molin J, Bergström G och Nilsson S**  
Kulvertförläggning med befintliga massor. Svenska Fjärrvärmeföreningen, Forskning och Utveckling, FOU 1997:17.
- 60 Bergström G och Nilsson S**  
Direktförlagda böjar i fjärrvärmeledning. Påkänningar och skadegränser. Svenska Fjärrvärmeföreningen, Forskning och Utveckling, FOU 2001:52.
- 61 Andersson S och Olsson N**  
Experimentell undersökning av böjar vid kallförläggning av fjärrvärmerör. Svenska Fjärrvärmeföreningen, Forskning och Utveckling, FOU 2002:63.
- 62 Axelsson K**  
*Introduktion till jordmekaniken jämte jordmaterialläran.* Avdelningen för Geoteknik, Luleå Tekniska Universitet, 971 87 Luleå.
- 63 Fjær E F, Holt R M, Horsrud P, Raaen A M and Risnes R**  
*Petroleum related rock mechanics.* Developments in petroleum science 33. Elsevier 1996. ISBN 0-444-88913-2.
- 64 Grönholm R, Hartlén J, Sävström R, Fridh R och Ulf Evertsson U, 1999**  
*Användning av betong, tegel och slaggrus som obundet vägbyggnadsmaterial.* Naturvårdsverket. AFR-report 278, 1999.
- 65 Sigfrid L, 2000**  
*Användning av alternativa material som fyllnads- och vägbyggnadsmaterial. Seminarium i Lund 28-29 oktober 1998.* Naturvårdsverket AFR-report 276, 2000.
- 66 Jacobson S och Hogmark S**  
*Tribologi – friktion, smörjning, nötning.* Liber utbildning AB, 1996. ISBN 91-634-1532-1.

- 67 Uetz H**  
*Abrasion und erosion. Grundlagen Betriebliche Erfahrungen Verminderung.* Carl Hanser Verlag, 1986. ISBN 3-446-14215-0.
- 68 Sjöblom R**  
*Potential för askhantering; utvecklingsbehov.* Värmeforsk, Anläggningsteknik 749, A9-838, 2001. ISSN 0282-3772.
- 69 Elert M, Jones C och Södergren S**  
*Bedömningsgrunder för förorenade massor.* RVF Utveckling 02:09, 2002 ISSN 1103-4092.



# Rapportförteckning

Samtliga rapporter kan beställas hos Fjärrvärmeföreningens Förlagsservice.  
Telefon: 026 – 24 90 24, Telefax: 026 - 24 90 10, [www.fjarrvarme.org](http://www.fjarrvarme.org)

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
<b>FORSKNING OCH UTVECKLING - RAPPORTER</b>			
1	Inventering av skador på befintliga skarvar med CFC-blåsta respektive CFC-fria fogsikum	Hans Torstensson	maj-96
2	Tryckväxlare - Status hösten 1995	Bror-Arne Gustafson Lena Olsson	maj-96
3	Bevakning av internationell fjärrvärmeforskning	Sture Andersson Gunnar Nilsson	maj-96
4	Epoxirelining av fjärrvärmerör	Jarl Nilsson	sep-96
5	Effektivisering av konventionella fjärrvärmecentraler (abonmentcentraler)	Lena Råberger Håkan Walletun	okt-96
6	Auktorisation av montörer för montage av skarvhylsor och isolering Former och utvärdering	Lars-Åke Cronholm	okt-96
7	Direkt markförlagda böjar i fjärrvärmeledningar	Jan Molin Gunnar Bergström	dec-96
8	Medierör av plast i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun Heimo Zinko	dec-96
9	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	dec-96
10	Dynamiska värmelaster från fiktiva värmebehov	Sven Werner	mars-97
11	Torkning av tvätt i fastighetstvättstugor med fjärrvärme	H. Andersson J. Ahlgren	maj-99
12	Omgivningsförhållandenas betydelse vid val av strategi för ombyggnad och underhåll av fjärrvärmenät. Insamlingsfasen	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-97
13	Svensk statlig fjärrvärmeforskning 1981-1996	Mikael Henriksson Sven Werner	dec-97
14	Korrosionsrisker vid användning av stål- och plaströr i fjärrvärmesystem - en litteraturstudie	Peeter Tarkpea	dec-97
15	Värme- och masstransport i mantelrör till ledningar för fjärrkyla och fjärrvärme	Daniel Eriksson Bengt Sundén	dec-97
16	Utvärdering av fuktinträning och gasdiffusion hos gamla kulvertrör "Hisings-Backa"	Ulf Jarfelt	dec-97
17	Kulvertförläggning med befintliga massor	Jan Molin Gunnar Bergström Stefan Nilsson	dec-97
18	Värmeåtervinning och produktion av frikyla - två sätt att öka marknaden för fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner	Peter Margen	dec-97
19	Projekt och Resultat 1994-1997	Anders Tvärne	mars-98

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
20	Analys av befintliga fjärrkylakunders kylbehov	Stefan Aronsson Per-Erik Nilsson	mars-98
21	Statusrapport Trycklösa Hetvattenackumulatörer	Mats Lindberg Leif Breitholtz	maj-98
22	Round Robin test av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ulf Jarfelt	maj-98
23	Mätvärdesinsamling från inspektionsbrunnar i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun	juni-98
24	Fjärrvärmerörens isolertekniska långtidsegenskaper	Ulf Jarfelt Olle Ramnäs	juni-98
25	Termisk undersökning av koppling av köldbärarkretsar till fjärrkylanät	Erik Jonson	juni-98
26	Reparation utan uppgrävning av skarvar på fjärrvärmerör	Jarl Nilsson Tommy Gudmundson	juni-98
27	Effektivisering av fjärrvärmecentraler – metodik, nyckeltal och användning av driftövervakningssystem	Håkan Walletun	apr-99
28	Fjärrkyla. Teknik och kunskapsläge 1998	Paul Westin	juli-98
29	Fjärrkyla – systemstudie	Martin Forsén Per-Åke Franck Mari Gustafsson Per-Erik Nilsson	juli-98
30	Nya material för fjärrvärmerör. Förstudie/litteraturstudie	Jan Ahlgren Linda Berlin Morgan Fröling Magdalena Svanström	dec-98
31	Optimalt val av värmemätarens flödesgivare	Janusz Wollerstrand	maj-99
32	Miljöanpassning/återanvändning av polyuretanisolerade fjärrvärmerör	Morgan Fröling	dec-98
33	Övervakning av fjärrvärmenät med fiberoptik	Marja Englund	maj-99
34	Undersökning av golvvärmesystem med PEX-rör	Lars Ehrlén	apr-99
35	Undersökning av funktionen hos tillsatser för fjärrvärmevatten	Tuija Kaunisto Leena Carpén	maj-99
36	Kartläggning av utvecklingsläget för ultraljudsflödesmätare	Jerker Delsing	nov-99
37	Förbättring av fjärrvärmecentraler med sekundärnät	Lennart Eriksson Håkan Walletun	maj-99
38	Ändgavlar på fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	sept-99
39	Användning av lågtemperaturfjärrvärme	Lennart Eriksson Jochen Dahm Heimo Zinko	sept-99
40	Tätning av skarvar i fjärrvärmerör med hjälp av material som sväller i kontakt med vatten	Rolf Sjöblom Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm	nov-99

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
41	Underlag för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-99
42	Metoder att nå lägre returtemperatur med värmeväxlardimensionering och injusteringsmetoder. Tillämpning på två fastigheter i Borås.	Stefan Petersson	mars-00
43	Vidhäftning mellan PUR-isolering och medierör. Har blåstring av medieröret någon effekt?	Ulf Jarfelt	juni-00
44	Mindre lokala produktionscentraler för kyla med optimal värmeåtervinningsgrad i fjärrvärmesystemen	Peter Margen	juni-00
45	Fullskaleförsök med friktionsminskande additiv i Herning, Danmark	Flemming Hammer Martin Hellsten	feb-01
46	Nedbrytningen av syrereducerande medel i fjärrvärmenät	Henrik Bjurström	okt-00
47	Energimarknad i förändring Utveckling, aktörer och strategier	Fredrik Lagergren	nov-00
48	Strömförsörjning till värmemätare	Henrik Bjurström	nov-00
49	Tensider i fjärrkylanät - Förstudie	Marcus Lager	nov-00
50	Svensk sammanfattning av AGFWs slutrapport ”Neuartige Wärmeverteilung”	Heimo Zinko	jan-01
51	Vattenläckage genom otät mantelrörsskarv	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	jan-01
52	Direktförlagda böjar i fjärrvärmeledningar Påkänningar och skadegränser	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
53	Korrosionsmätningar i PEX-system i Landskrona och Enköping	Anders Thorén	feb-01
54	Sammanlagring och värmeförluster i närvärmenät	Jochen Dahm Jan-Olof Dalenbäck	feb-01
55	Tryckväxlare för fjärrkyla	Lars Eliasson	mars-01
56	Beslutsunderlag i svenska energiföretag	Peter Svahn	sept-01
57	Skarvtätning baserad på svällande material	Henrik Bjurström Pal Kalbantner Lars-Åke Cronholm	okt-01
58	Täthet hos skarvar vid återfyllning med befintliga massor	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	okt-01
59	Analys av trerörssystem för kombinerad distribution av fjärrvärme och fjärrkyla	Guaxiao Yao	dec-01
60	Miljöbelastning från läggning av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Magdalena Svanström	jan-02
61	Korrosionsskydd av en trycklös varmvattenackumulator med kvävgasteknik – fjärrvärmeverket i Falkenberg	Leif Nilsson	jan-02
62	Tappvarmvattenreglering i P-märkta fjärrvärmecentraler för villor – Utvärdering och förslag till förbättring	Tommy Persson	jan-02

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
63	Experimentell undersökning av böjar vid kallförläggning av fjärrvärmerör	Sture Andersson Nils Olsson	jan-02
64	Förändring av fjärrvärmenäts flödesbehov	Håkan Walletun Daniel Lundh	jan-02
65	Framtemperatur vid värmegles fjärrvärme	Tord Sivertsson Sven Werner	mars-02
66	Fjärravläsning med signaler genom rörnät – förstudie	Lars Ljung Rolf Sjöblom	mars-02
67	Fukttransport i skarvskum	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	april-02
68	Round Robin test II av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ture Nordenswan	april-02
69	EkoDim – beräkningsprogram	Ulf Jarfelt	juni-02
70	Felidentifiering i FC med ”flygfoton” – Förstudie	Patrik Selinder Håkan Walletun	juni-02
71	Digitala läckdetekteringssystem	Jan Andersson	aug-02
72	Utvändigt skydd hos fjärrvärmerörsskarvar	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	sept-02
73	Fuktdiffusion i plaströrsystem	Heimo Zinko Gunnar Bergström Stefan Nilsson Ulf Jarfelt	sept-02
74	Nuläge värmegles fjärrvärme	Lennart Larsson Sofie Andersson Sven Werner	sept-02
75	Tappvarmvattensystem – egenskaper, dimensionering och komfort	Janusz Wollerstrand	sept-02
76	Teknisk och ekonomisk jämförelse mellan 1- och 2-stegskopplade fjärrvärmecentraler	Håkan Walletun	okt-02
77	Isocyanatexponering vid svetsning av fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Lisa Lindqvist Stefan Nilsson	okt-02
78	Förbättringspotential i sekundärnät	Lennart Eriksson Stefan Petersson Håkan Walletun	okt-02
79	Jämförelse mellan dubbel- och enkelrör	Ulf Jarfelt	dec-02
80	Utvändig korrosion på fjärrvärmerör	Göran Sund	dec-02
81	Varmvattenkomfort sommartid i småhus	Tommy Persson	dec-02
82	Miljöbelastning från produktion av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Camilla Holmgren	dec-02
83	Samverkande produktions- och distributionsmodeller	John Johnsson Ola Rossing	feb-03
84	Användning av aska vid förläggning av fjärrvärmeledningar - förstudie	Rolf Sjöblom	feb-03

**FORSKNING OCH UTVECKLING – ORIENTERING**

1	Fjärrkyla: Behov av forskning och utveckling	Sven Werner	jan-98
2	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för perioden 23/5 – 30/9 1996.	Lars Lindgren Conny Nikolaisen	jan-98
3	Symposium om Fjärrvärmeforskning på Ullinge Wårdshus i Eksjö kommun, 10-11 december 1996	Lennart Thörnqvist	jan-98
4	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för period 2. 1/1 – 31/12 1997.	Conny Nikolaisen	juli-98
5	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	sept-99
6	Optimering av fjärrvärmevattens framledningstemperatur i mindre fjärrvärmesystem	Ilkka Keppo Pekka Ahtila	jan-03

Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB och Statens Energi-  
myndighet bedriver forskningsprogram inom området fjärrvärme  
hetvattenteknik och fjärrkyla.

**SVENSKA FJÄRRVÄRMEFÖRENINGENS SERVICE AB**

101 53 STOCKHOLM

Besöksadress: Olof Palmes Gata 31, 6 tr

Telefon 08 - 677 25 50, Telefax 08 - 677 25 55

**Förlagsservice, beställning av trycksaker:**

Telefon 026 - 24 90 24, Telefax 026 - 24 90 10