

Genanvendelse af brugt stenuld

Hovedprojekt

Lars Hørberg, Poul Larsø, Allan Rieber, Dorthe Vistisen,
Klaus Gotthjælp & Nicolai Skov

Rockwool A/S

Anne Louise Niemann, Niels Strufe & Niels Juul Busch

Rambøll

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

1	FORORD	5
2	SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
3	SUMMARY AND CONCLUSIONS	12
4	INDLEDNING	17
4.1	FORMÅL	17
4.2	BAGGRUND	17
4.3	AFGRÆNSNING AF HOVEDPROJEKT	20
4.4	METODE	21
4.5	ORGANISERING	22
5	GENNEMFØRELSE AF FORSØG	23
5.1	PLANLÆGNING AF FORSØG	23
5.2	SORTERINGS OG RENSNINGSFORSØG	23
5.3	GENNEMFØRELSE AF SORTERINGS- OG RENSNINGSFORSØG	25
5.4	INTERVIEW MED NØGLE-OPERATØRER	40
5.5	FORSØG MED ANVENDELSE AF BRUGT STENULD I PRODUKTIONEN AF NY STENULD	45
5.6	VURDERING AF GENNEMFØRTE FORSØG	47
6	VURDERING AF TEKNISKE FORHOLD	49
6.1	SORTERINGS- OG RENSNINGSPROCEDURER	49
6.2	KVALITET AF UDSORTERET BRUGT STENULD	50
6.3	OPLAGRING	50
6.4	TRANSPORT	50
6.5	PRODUKTION AF NY ULD MED GENANVENDT STENULD	51
7	MODELLER FOR INDSAMLING OG GENANVENDELSE AF BRUGT STENULD	54
7.1	MODEL 1: LEVERING AF ALT BRUGT KILDESORTERET STENULD TIL GENANVENDELSE OG VIDEREUDNYTTTELSE	57
7.2	MODEL 2: LEVERING AF BRUGT KILDESORTERET STENULD TIL PRIMÆRT GENANVENDELSE SAMT VIDEREUDNYTTTELSE	59
7.3	MODEL 3: LEVERING AF AL BRUGT KILDESORTERET STENULD TIL GENANVENDELSE	60
7.4	NØGLETAL TIL BEREGNING AF TRANSPORTOMKOSTNINGER	62
8	MILJØ- OG ARBEJDSMILJØVURDERINGER	64
8.1	EXTERNT MILJØ – SCREENINGSMETODE	64
8.2	MILJØSCREENING AF DE ENKELTE MODELLER	65
8.3	FREMTIDIG UDVIKLING	68
8.4	ARBEJDSMILJØ	71

9	ØKONOMIVURDERINGER	73
9.1	ØKONOMIVURDERINGSMETODE	73
9.2	ØKONOMIVURDERING AF DE ENKELTE MODELLER	78
9.3	SAMMENFATTENDE ØKONOMIVURDERING	82
9.4	FREMTIDIG UDVIKLING	84
10	SAMLET VURDERING OG ANBEFALINGER	85
10.1	SAMMENFATTENDE VURDERING	85
10.2	ANBEFALINGER	86
11	REFERENCER	89
	BILAG A: SPØRGESKEMA TIL INTERVIEW	91
	BILAG B: KRAVS-SPECIFIKATION FOR GENANVENDELSE AF BRUGT STENULD PÅ ROCKWOOL FABRIK	93
	BILAG C: RESULTAT AF FORSØG MED BRUG AF BRUGT STENULD I PRODUKTION AF NY.	94
	BILAG D: OPGØRELSE AF TRANSPORTAFSTANDE.	96
	BILAG E: MILJØBEREGNINGER.	99
	BILAG F: OMKOSTNINGSOPGØRELSER.	101
	BILAG G: FREMSKREVNE MÆNGDER AF BRUGT STENULD FOR 2006 OG 2008.	107
	BILAG H: FREMSKREVNE MILJØ OG ØKONOMI-BEREGNINGER FOR 2006.	108
	BILAG J: FREMSKREVNE MILJØ OG ØKONOMI-BEREGNINGER FOR 2008	111

1 Forord

Denne rapport sammenfatter resultaterne af projektet ”Genanvendelse af brugt stenuld - Hovedprojekt”. Projektet er gennemført af Rockwool A/S, med Rambøll som konsulent og med støtte fra Miljøstyrelsen.

Projektholdet bag projektet har bestået af:

- Lars Hørberg, Rockwool A/S
- Poul Larsø, Rockwool A/S
- Allan Rieber, Rockwool A/S
- Dorthe Vistisen, Rockwool A/S
- Klaus Gotthjælp, Rockwool A/S
- Nicolai Skov, Rockwool A/S
- Anne Louise Niemann, Rambøll
- Niels Strufe, Rambøll
- Niels Juul Busch, Rambøll

I forbindelse med projektet har der været nedsat en følgegruppe bestående af:

- Anne Nielsen, Miljøstyrelsen
- Jan Brandis, Dansk Byggeri, Nedrivningssektionen
- Jens Nørgaard, Dansk Industri
- Jørgen F. Andersen, Arbejdstilsynet.
- Lars Hørberg, Rockwool A/S
- Niels Juul Busch, Rambøll
- Niels Strufe, Rambøll

Projektgruppen ønsker at takke følgegruppen og andre involverede personer, virksomheder og organisationer, som har bistået undervejs i projektet. En speciel tak skal gå til Kingo Karlsen A/S Nedrivning for gennemførelse af praktiske forsøg med udsortering af brugt stenuld ved tre nedrivninger.

Dette ”Hovedprojekt” er en opfølgning på et ”Forprojekt”, som havde til formål at kortlægge potentialet af brugt stenuld, samt at gennemføre indledende vurderinger af de praktiske, miljømæssige og økonomiske muligheder for og konsekvenser af at genanvende brugt stenuld.

Dette Hovedprojekt har således haft til formål at gennemføre en række praktiske forsøg med henblik på at kvalificere de teoretisk baserede vurderinger i Forprojektet.

2 Sammenfatning og konklusioner

Formål

Det er projektets formål, blandt andet på baggrund af praktiske forsøg, at danne grundlag for opbygning af et genanvendelsessystem for brugt, let bygningsisolering i form af stenuld, herunder en vurdering af de miljømæssige og økonomiske konsekvenser heraf.

Projektet er gennemført på baggrund af de resultater som blev fremlagt i forprojektet herunder et forventet årligt potentiale for brugt stenuld på 6.276 tons i 2003, stigende til 14.375 tons i år 2012.

Gennemførelse af forsøg

Der er i projektet gennemført følgende typer forsøg:

- Forsøg med kildesorteret stenuld og transporteret direkte til Rockwool fabrik.
- Forsøg med anvendelse af brugt stenuld i fremstillingen af nye stenuldsprodukter hos Rockwool.

Herudover er der gennemført en række interviews med nøgle-operatører indenfor brancherne; nedrivning og genanvendelse af bygge- og anlægsaffald.

forsøgsresultater

Sorteringsforsøgene med kildesortering og rensning på nedrivningspladserne har vist, at det er muligt at opnå en næsten fuldstændig adskillelse af stenuld og glasuld, samt at det vil være realistisk at antage at gennemsnitligt 90% af stenulden fra renoveringer og nedrivninger vil blive udsorteret og kørt til genanvendelse.

Forsøg med produktion af ny stenuld med anvendelse af brugt stenuld er gennemført uden væsentlige problemer. De fiberkemiske undersøgelser af brugt stenuld fra Vamdrup viser, at der er afvigelser i den fiberkemiske sammensætning i forhold til fabrikkens normale briket og affald. Disse afvigelser kan dog justeres ind under produktionen ved at justere **chargen**, dvs. den doseringsmæssige sammensætning i produktionen.

Forsøgene har også vist, at den nuværende kapacitet og det nuværende produktionsudstyr kan give problemer med at sikre denne rette dosering af brugt stenuld til cementbriketterne. Dette problem må forventes at blive tydeligt, såfremt der skal håndteres store mængder af brugt stenuld.

Med henblik på at etablere et genanvendelsessystem for brugt stenuld på fabrikken, er den umiddelbare konklusion herpå, at der er et behov for en investering fra Rockwool, til udvikling og etablering af et eller flere værktøjer til styring af det affald der modtages til produktion.

Vurdering af tekniske forhold

Kvaliteten af den brugte stenuld, som er udsortet i forbindelse med forsøgene, er af så høj kvalitet, at den umiddelbart svarer til de af Rockwool fabrikkerne opstillede leveringskrav og således kan anvendes af Rockwool fabrikkerne uden nævneværdig yderligere bearbejdning, forudsat nødvendige fremtidige investeringer i produktionsstyring.

Kildesortering af stenuld ved nedrivninger kan konstateres ikke at ville give branchen vanskeligheder. I dag fortages i vid udstrækning allerede kildesortering af mineraluldsisolering.

På baggrund af de gennemførte forsøg på Rockwool fabrikken i Vamdrup, er der i projektet opstillet kravspecifikationer til brugt stenuld ved modtagelse og forbehandling, samt til produktionsprocessen. Specifikationerne er opstillet for henholdsvis eksisterende forhold (som ved gennemførelse af forsøg) og ved fremtidige forhold ved en eventuel investering i nyt udstyr.

Der er i projektet vurderet, at eventuelle investeringer hos Rockwool vil komme til at ligge på omkring 5 millioner kroner. Investeringerne vil dog samtidigt medføre en kapacitetsforøgelse på brugt stenuld helt op til 11.000 tons/år. Etablering af et sådant genanvendelsessystem inklusive investeringer vil således være fremtidssikret i forhold til de forventede fremtidige mængder af brugt stenuld.

Modeller for genanvendelse af brugt stenuld

Der er i projektet opstillet tre alternative modeller for et genanvendelsessystem for let mineraluldsisolering. Modellerne holdes op mod det i forprojektet definerede – referencesystem – det eksisterende bortskaffelsessystem for stenuld via deponi. Modellerne omfatter følgende:

Model 1

- Genanvendelse af brugt stenuld (Vest for Storebælt) til nye stenuldsprodukter hos Rockwool.
- Videreudnyttelse af brugt stenuld (Øst for Storebælt) til fremstilling af blæsemiddel hos RGS90.

Model 2

- Genanvendelse af brugt stenuld til nye stenuldsprodukter hos Rockwool (Vest for Storebælt).
- Delvis Videreudnyttelse af brugt stenuld (Øst for Storebælt) til fremstilling af blæsemiddel, samt
- Delvis genanvendelse af brugt stenuld (Øst for Storebælt) til nye stenuldsprodukter hos Rockwool.

Model 3

- Genanvendelse af al brugt stenuld til nye stenuldsprodukter hos Rockwool.

I modellerne for genanvendelse forudsættes det, at så meget brugt stenuld som muligt kildesorteres og renses på diverse nedrivningspladser og leveres

enten direkte til Rockwool fabrikkerne eller til anden genanvendelse/videreudnyttelse, eventuelt via regionale indsamlingsstationer. I modellerne forudsættes en genanvendelsesprocent på ca. 90% af potentialet, svarende til 5.609 tons (2003). De resterende ca. 10% forventes fortsat deponeret.

Vurdering af miljø og arbejdsmiljø

Der er i projektet foretaget en vurdering af de miljømæssige konsekvenser af at etablere de forskellige scenarier (modeller) for genanvendelsessystemer. Der er i den forbindelse blevet set på både eksterne miljøforhold og på arbejdsmiljøforhold.

Miljøscreeningen af de opstillede modeller for genanvendelse af stenuld viser ikke overraskende, at emissionsrelaterede miljøeffekter, så som drivhuseffekt og næringsstofbelastning, og ressourceforbruget er større i genanvendelsesmodellerne end i referencesystemet. Dette blev også vist i forprojektet. De større emissionsrelaterede miljøeffekter skyldes, at der sker en langt større transport af stenuld rundt i landet, her ses også et stort olieforbrug, mens transportafstanden er lille i referencesystemet.

Til gengæld ses det, at affaldsmængden er langt større i referencesystemet, pga. deponeringen af stenulden. Stenuld er dog meget stabilt affald, der modelleres som volumenaffald, dvs. affald, der hovedsageligt er en ulempe at deponere, fordi det optager plads på lossepladserne og, som så vidt muligt ønskes begrænset i omfang.

Samlet set vil der således være både miljømæssige ulemper og fordele ved genanvendelse af stenulden. Ved genanvendelse vil der være et større forbrug af ikke-fornybare ressourcer, så som dieselolie til transport og en deraf følgende en større forurening af luft og vand, mens der spares på deponi, og dermed bl.a. på inddragelse af landområder. Samlet set er der dog en klar fordel ved genanvendelse af brugt sten modsat deponering. Dette er endvidere vist i de fremskrevne beregninger for årene 2006 og 2008.

Med hensyn til arbejdsmiljø er det konstateret, at procedurerne for udsorteringen af brugt stenuld til genanvendelse ikke afviger væsentligt fra de procedurer, som ved de fleste nedrivninger i forvejen praktiseres i dag, nemlig selektiv nedrivning. De arbejdsmiljømæssige problemstillinger vil således generelt ikke forværres ved indsamling af stenuld til genanvendelse.

Vurdering af økonomi

I økonomivurderingerne er der taget hensyn til følgende tre hovedparametre:

- Transportomkostninger
- Omkostninger ved containere
- Kapitalomkostninger hos Rockwool

I nedenstående tabel ses de sammenfattede gennemsnitlige omkostninger ved henholdsvis referencesystemet og de tre genanvendelsesmodeller.

	Reference-system kr/ton/år	Model 1 kr/ton/år	Model 2 kr/ton/år	Model 3 kr/ton/år
Gennemsnitlige omkostning	923	693	792	868

Det ses umiddelbart, at model 3 og referencesystemet er de dyreste løsninger og model 1 den billigste. Det skal dog bemærkes, at der for de opsatte genanvendelsessystemer er forudsat, at der ikke er ekstraomkostninger forbundet med kildesortering, samt eventuelle kapitalomkostninger hos RGS90 er nul.

Forskellen mellem de opsatte genanvendelsesmodeller skyldes hovedsageligt to forhold: Transportomkostninger, herunder krydsning af Storebælt, og kapitalomkostningerne hos Rockwool.

I hovedprojektet er der gennemført miljø- og økonomiberegninger med udgangspunkt i de potentielle mængder af brugt stenuld forår 2003. Med henblik på at vurdere en fremtidig udvikling er der endvidere udført fremskrevne beregninger for årene 2006 og 2008.

Samlet vurdering

Samlet set er det vurderet, at et genanvendelsessystem for brugt stenuld med fordel og relativt enkelt ville kunne etableres. Et genanvendelsessystem for brugt stenuld bør baseres på en geografisk opdeling samt to parallelle systemer (tostreng) til slutdisponering, herunder indsamling og levering af brugt kildesorteret stenuld til genanvendelse (Rockwool) og videreudnyttelse (Carbogrit) enten direkte eller via regionale indsamlingsstationer (model 1).

Konklusioner og anbefalinger

Det vil være realistisk at antage, at gennemsnitligt 90% af stenulden fra renoveringer og nedrivninger vil blive udsorteret og kørt til genanvendelse.

Et genanvendelsessystem for brugt stenuld bør baseres på en geografisk opdeling samt to parallelle systemer (tostreng) til slutdisponering, herunder indsamling og levering af brugt kildesorteret stenuld til genanvendelse (Rockwool) og videreudnyttelse (Carbogrit) enten direkte eller via regionale indsamlingsstationer (model 1).

Det er ikke muligt at give et fuldstændigt tal for de miljømæssige effekter, men det kan konkluderes, at for visse effekter er det en fordel at genanvende, fordi man sparer deponi, til gengæld så bliver der brugt flere energiresourcer til transport ved genanvendelse.

Der er et behov for en investering fra Rockwool, til udvikling og etablering af et eller flere værktøjer til styring af det affald der modtages til produktion. Eventuelle investeringer hos Rockwool vil komme til at ligge på omkring 5 millioner kroner. Investeringerne vil dog samtidigt medføre en

kapacitetsforøgelse på brugt stenuld og således være fremtidssikret i forhold til de forventede fremtidige mængder af brugt stenuld.

Af de fremskrevne beregninger for 2006 og 2008 ses at der med øgede mængder af brugt stenuld sker et mindre fald i transportomkostningerne, et lille fald i miljøomkostningerne og et forventeligt fald i omkostningerne hos Rockwool, som primært skyldes at deres omkostninger per år er faste.

Det må dog også konkluderes, at en forudsætning for at opnå de økonomiske og miljømæssige fordele ved et genanvendelsessystem, er en sikring af tilstrækkelig tilført mængde og kvalitet af det materiale, som leveres til Rockwool med henblik på genanvendelse.

På grundlag af de her gennemførte forsøg og de foreslåede genanvendelsesmodeller med tilhørende miljø- og økonomimæssige vurderinger, anbefales det i rapporten, at etablere et genanvendelsessystem for let mineraluldsisolering, baseret på det i genanvendelses model 1 anbefalede system, herunder fastlæggelse af nødvendige mængder og transport af mineraluld.

Det anbefales derfor, at der tages indledende skridt til dialog og en nærmere drøftelse med relevante parter og interessenter i et sådant genanvendelsessystem, med henblik på en nærmere konkretisering af rammerne for et sådant system. Endvidere gives der anbefalinger til nærmere udredninger omkring lovgivning, kommunernes håndtering af brugt stenuld i regulativer og administrative procedurer for genanvendelse.

3 Summary and conclusions

Objective

The objective of the project is to investigate and assess the possibilities of setting up a recycling system for used insulation material made of stone wool. To support the objective investigations were carried out during the project at demolition sites. Furthermore the environmental and economical consequences of a recycling system were assessed.

Preliminary investigations of the future stone wool potential form the basis for this project. In the preliminary project the yearly potential of used stone wool for recycling were calculated to be 6,276 ton in 2003, rising to 14,375 ton in 2012.

Field investigations

The following field investigations were performed at demolition sites:

- Source sorting of used stone wool, and transport directly to a Rockwool production facility.
- Tests with use of used stone wool as raw material in the production of new stone wool products at the Rockwool production facility.

During the project a number of key stake holders working with demolition and recycling of construction wastes were interviewed.

Test results

Source sorting and treatment of the used stone wool have shown that it is possible to reach an almost complete separation of stone wool and glass wool. The sorting tests showed that an average of 90% of all stone wool taken out of constructions being renovated or demolished can be sorted to a satisfactorily quality and recycled.

Tests on production of new stone wool have shown that it is unproblematic to use used stone wool as a raw materials. Fiberchemical analysis shows deviations between the used stone wool and the current briquette of raw material used for production of new stone wool products. It is however possible to adjust the fiberchemical composition of a briquette, so it is possible to add used stone wool in the production.

The tests have also shown that the current production capacity and production equipment can create problems with regards to obtaining the correct distribution between used stone wool and cement briquettes. This will especially be problematic if large amounts of used stone wool are to be handled and used in the production.

It will thus require investments from Rockwool to establish a recycling system of their used products. The investments needs especially to be used for production equipment and tools for controlling the received used stone wool.

Assessment of technical issues

The quality of the used stone wool sorted out during the sorting tests was of such a high quality, that it met the quality demands set by Rockwool. The stone wool could thus be used in the production with out a further treatment. If it is possible to obtain a corresponding quality in a recycling system, Rockwool will only need to invest in a control system for a new type of raw material, and will not need to invest in sorting equipment.

Source sorting of stone wool at demolition sites are assessed not to give difficulties in a recycling system. Widespread source sorting at construction and demolition sites are already common practice today, and are also be applied to stone wool.

Based on the production tests at the Rockwool production facility at Vamdrup the project has developed a list of specifications for the used stone wool that Rockwool is willing to receive and use in the production process. Specifications are made for the current conditions at the production facility (as they were during the tests) and for future conditions if Rockwool invests in new equipment.

It has been assessed that Rockwool needs to invest app. 5 million DKK in equipment and tools if used stone wool is to be included without problems in the production of new stone wool products. These investments will however make Rockwool able to receive up to 11,000 ton used stone wool per year (the current amount available for recycling is 5,609 ton/year in 2003) and the production system will thus be able to receive the future growing amounts of used stone wool.

Models for recycling of used stone wool

Three alternative models for recycling of used stone wool have been set up in the project. The models will be compared with the existing disposal system for stone wool to landfill; the exiting waste system is also called the reference system. The models for recycling are:

Model 1

- Recycling of used stone wool as raw material for new stone wool products at Rockwool (From west of Great Belt)
- Use of used stone wool as raw materials for production of sand blasting material at RGS90 (From east of Great Belt)

Model 2

- Recycling of used stone wool as raw material for new stone wool products at Rockwool (From west of Great Belt)
- Partly use of used stone wool as raw materials for production of sand blasting material at RGS90 (From east of Great Belt)
- Partly recycling of used stone wool as raw material for new stone wool products at Rockwool (From East of Great Belt)

Model 3

- Recycling of all used stone wool as raw material for new stone wool products at Rockwool (From west of Great Belt)

When setting up the models it was assumed that as much used stone wool as possible should be recycled. Thus it should be sorted and treated at the source (the demolition site) and delivered either directly to Rockwool or to another user, possibly via regional collection stations

A recycling percentage of app. 90% of the used stone wool potential is assumed in all models responding to 5,609 ton/year (2003). The remaining app. 10% will continue to be disposed at landfills.

Assessment of environment and working environment

The environmental consequences of establishing the 3 recycling models for used stone wool has been assessed, both external environment and working environment has been included.

The environmental screening of the models does not surprisingly show, that the environmental effects and the resource consumption are larger for the recycling models than in the reference system. This was also shown in the preliminary project, and is mainly caused by the larger amount of transport in the recycling systems compared to the reference system.

Naturally the amount of waste to landfills will on the contrary be reduced significantly in the recycling models compared to the reference system. Stone wool is a very stable type of waste, and it is thus modelled as volume waste in the impact modelling. Volume waste is mainly a problematic to landfill due to the fact that it takes up space in the landfill i.e. it is desirable to remove stone wool from the landfills to preserve landfilling space.

There will thus be both advantages and disadvantages in recycling used stone wool; a reduction of waste to landfilling, which reduces land areas confiscated for landfills and a larger consumption of non-renewable resources as well as more polluted air and water. It will be a clear advantage to recycle used stone wool compared to landfilling. This is also shown in extrapolated calculations for 2006 and 2008.

The procedures for sorting the used stone wool for recycling does not deviate significantly from the sorting procedures already performed at demolition sites. It is thus assessed that the source sorting of stone wool does not have a negative effect on the working environment.

Economical assessment

The following three costparameters are included in the economical assessment:

- Transport
- Containers

- Capital investments at Rockwool

The average costs for recycling of used stone wool in the three different recycling models as well as the average costs for disposal at landfills in the reference system is presented in the following table.

	Reference system dkk/ton/year	Model 1 dkk/ton/year	Model 2 dkk/ton/year	Model 3 dkk/ton/year
Average costs	923	693	792	868

Model 3 and the reference system are the most expensive solutions for disposal of used stone wool, while model 1 is the cheapest. It should however be noted, that it is assumed that no extra costs are connected with source sorting in the recycling systems and that there are no necessary capital investments at RGS90.

The difference between the recycling systems have two main causes: Transport costs including crossing of the Great Belt Bridge, and capital investments at Rockwool.

The environmental and economical calculations in this project have been based on potential amounts of used stone wool generated in 2003. In order to assess future developments for the recycling models calculations have also been performed on potential stone wool amounts for 2006 and 2008.

Conclusions and recommendations

It will be realistic to obtain 90% recycling of used stone wool from renovation and demolition sites.

A recycling system for used stone wool can be established relatively simply and be economically advantageous, provided that the key stakeholders are willing to participate. A recycling system should be based on a geographical division between East and West Denmark and should have two different ways for recycling/further use, i.e. collection and delivery at Rockwool for recycling and use as raw material for Carbogrit at RGS90 in Stignæs (model 1).

It is not possible to give an clear conclusion on environmental effects, but it can be concluded that for it is an advantage for certain environmental effects to recycle used stone wool, since a lot of waste is removed from land filling. More energy resources will however be used for transport, causing a greater contribution to air emissions.

Rockwool will need to invest in development and implementation of one or more tools for control of the used stone wool they receives. Investments are assessed to be around 5 million DKK. The investments will however secure that Rockwool has capacity to receive future amounts of used stone wool.

The extrapolated calculations for 2006 and 2008 shows that the cost of transport as well as the environmental effects will decrease per ton recycled stone wool due to the future increase in amounts. It is also expected that the

investment costs at Rockwool per ton recycled stone wool will decrease, since their costs per year does not change regardless of the amount of received stone wool.

A precondition for a successful recycling system that is economically and environmentally advantageous is that sufficient amounts of used stone wool is collected and that it has a quality that can be used by Rockwool without any pre-treatment.

Based on the results of the field investigations, the tests at Rockwool and the calculations and assessments of the recycling models it is recommended to establish a recycling system that follows model 1 in this report.

It is therefore recommended to take the preliminary steps to a dialog and closer discussions with involved partners and stakeholders in such a recycling system in order to make a more concrete and precise framework. It is furthermore recommended to look further into the relevant legislation, the municipal handling of the stone wool fraction in regulations and administrative procedures for recycling.

4 Indledning

4.1 Formål

Formålet med dette projekt – Genanvendelse af brugt stenuld – ”Hovedprojekt” - er at danne grundlag for opbygning af et genanvendelsessystem for brugt let bygningsisolering i form af stenuld.

Hovedprojektet har således til hensigt at vurdere mulighederne for at etablere et sådant system samt at vurdere de praktiske, miljømæssige og økonomiske konsekvenser heraf, bl.a. på baggrund af praktiske forsøg med følgende projektkomponenter:

1. Forsøg med kildesortering og rensning af brugt stenuld på nedrivnings- og renoveringspladser samt udsortering af brugt stenuld på centrale sorteringsanlæg for bygningsaffald.
2. Gennemførelse af praktiske forsøg med anvendelse af sorteret brugt stenuld i produktionen af nye stenuldsprodukter.
3. Vurdering af de bedst mulige indsamlings-, transport- og håndteringsmetoder for det indsamlede brugte stenuld samt vurdering af de miljømæssige, arbejdsmiljømæssige og økonomiske konsekvenser på baggrund af de praktiske forsøg.

4.2 Baggrund

Indsatsen for at opnå en tidssvarende isoleringsstandard i det eksisterende danske byggeri har medført en forøget tilførsel af gamle isoleringsmaterialer til de danske lossepladser.

På trods af sammentrykningen af stenuld i forbindelse med deponering vil materialet beslaglægge et stort volumen på lossepladserne. Denne situation er ikke hensigtsmæssig, da de tilgængelige arealer, hvor det er muligt at anlægge lossepladser, er begrænsede.

4.2.1 Forprojekt

Det gennemførte Forprojekt (2003) viste, at mængden af brugt stenuld, der skal deponeres på lossepladser, kan forventes at stige kraftigt i de kommende år. Det brugte stenuld, der var basis for beregningerne i Forprojektet, bestod af bygningsisolering, da denne type brugt stenuld forventes at forekomme i størst mængder og at være lettest at genanvende. Den beregnede mængde af brugt stenuld, som forventes at fremkomme ved nedrivninger m.v., samt det tilhørende lossepladsvolumen, som potentielt kan spares ved genanvendelse, fremgår af tabel 1 nedenfor.

Tabel 1: Forventet potentiale af genanvendeligt brugt stenuld fra nedrivninger og renoveringer (bygningisolering), 2002-2012

År	Forventet stenulds-potentiale, ton	Besparelse af losse-pladsvolumen, m ³ *
2002	5.673	28.365
2003	6.276	31.380
2004	6.905	34.525
2005	7.572	37.860
2006	8.331	41.655
2007	9.181	45.905
2008	10.098	50.490
2009	11.062	55.310
2010	12.097	60.485
2011	13.204	66.020
2012	14.375	71.875
Akkumuleret	104.774	523.870

Note: Baseret på gennemsnitlig massefylde for brugt stenuld på losseplads: 200 kg/m³.

Fordelingen af stenulds-potentialet på landsdele og regionale forskelle, jf. nedenstående tabel 2, blev opgjort under hensyntagen til bl.a., at fordelingen af bygningstætheden i de 14 danske amter er skæv og, at der ligeledes er en forskellig fordeling af bygningskategorier. I hovedprojektet anvendes mængderne opgjort for året 2003.

Tabel 2: Brugt stenulds-mængde skønnet for år 2003 ved skæv fordeling under hensyntagen til de regionale forskelle i renoverings- og nedrivningsaktiviteten

Amt	Isoleringspotentiale (ton)
Københavns Amt	941
Frederiksborg Amt	562
Roskilde Amt	379
Vestsjællands Amt	291
Storstrøms Amt	247
Fyns Amt	567
Sønderjyllands Amt	315
Ribe Amt	308
Vejle Amt	515
Ringkøbings Amt	398
Århus Amt	801
Viborg Amt	303
Nordjyllands Amt	604
Bornholms Amt	45
Total:	6.276

I Forprojektet blev tre alternative indsamlings-, sorterings- og rensningsscenerier vurderet:

- **Kildesortering** og rensning på nedrivningspladserne

- Sortering og rensning på et **regionalt sorteringsanlæg**
- Sortering og rensning på et **centralt sorteringsanlæg**

Desuden blev der opstillet tre alternative genanvendelsesmodeller for processerne efter sortering og rensning:

- Alt brugt stenuld tilføres Rockwoolfabrikkerne
- Brugt stenuld tilføres dels Rockwoolfabrikkerne, dels Carbogrit-anlæg
- Alt brugt stenuld tilføres Carbogrit-anlæg.

For håndteringsscenerierne og genanvendelsesmodellerne blev der foretaget vurdering af de miljømæssige og økonomiske konsekvenser.

4.2.2 Forprojektets konklusioner

Konklusionen på miljøvurderingen, udført på baggrund af UMIP metoden, var, at miljøbelastningen reduceres ved genanvendelse af brugt stenuld for alle scenarier, frem for at stenulden deponeres. Reduktionen er størst ved kildesortering af det brugte stenuld og direkte transport til Rockwool, tæt fulgt af sortering på anlæg og transport til Rockwool.

Det dominerende for resultatet af miljøvurderingen er den store gevinst, der fås ved besparelse af volumenaffald til deponi.

Konklusionen på økonomivurderingen er, at der opnås en økonomisk fordel ved kildesortering af det brugte stenuld, mens sortering på sorteringsanlæg vil have lidt flere omkostninger. Til gengæld giver sortering på sorteringsanlæg større sikkerhed for høj kvalitet af det sorterede brugte stenuld. Sortering på sorteringsanlæg vil i praksis ske på en kombination af regionale og centrale sorteringsanlæg, som følge af forekomsten af allerede eksisterende anlæg. De beregnede omkostninger for sortering på sorteringsanlæg har vist sig at være på samme niveau, som omkostningsoverslaget for et genanvendelsessystem, hvilket er 950 kr/ton.

For så vidt angår de privatøkonomiske betragtninger, ligger omkostningerne ved genanvendelse på basis af kildesortering, som angivet i rapporten, under prisen for deponering på 810 kr/ton inklusiv statsafgift, mens de ligger lidt over for sortering på anlæg.

Ved vurderingen af de økonomiske omkostninger for de enkelte scenarier er der flere betragtninger, der skal tages forbehold for. De mest betydende er prisoverslaget for sortering på anlæg, pris for transport samt omkostninger for bygherrerne.

Sorteringsforsøg i hovedprojektet kan muligvis vise, at der er behov for et manuelt check af sorteringskvaliteten for det kildesorterede stenuld, hvilket vil betyde ekstra økonomiske omkostninger.

Forprojektet anbefaler at undersøge kvaliteten af det brugte stenuld, der fremkommer ved såvel kildesortering som sortering på anlæg, da et konkret genanvendelsessystem evt. vil indeholde begge behandlingsmetoder.

4.2.3 Projektets relation til strategier m.v.

Genanvendelse af brugt stenuld indebærer et potentiale for:

- Reduktion af lossepladsbehov
- Reduktion af ressourceforbrug
- Reduktion af energiforbrug og CO₂-udslip.

De to førstnævnte aspekter er i god overensstemmelse med udkastet Regeringens nye "Affaldsstrategi 2005-2008", hvis overordnede mål er:

- Ressourcetab og miljøbelastning fra affald skal sættes ned
- Væksten i affaldsmængderne skal afkobles fra den økonomiske vækst
- Mere miljø for pengene – øget kvalitet i affaldsbehandlingen.

Potentialet for reduktion af energiforbrug og CO₂-udslip i overensstemmelse med Regeringens Klimastrategi er mindre god, da de foreslåede genanvendelsessystemer, uanset den samlede miljøgevinst, medfører en større transport mængde. Der opnås ingen signifikant besparelse af energi brugt i produktionen, da det brugte stenuld skal smeltes under samme temperaturer som virgine stenråvarer. En lille energibesparelse fås fordi der udvindes mindre mængder virgine råvarer.

Udkastet til Regeringens "Affaldsstrategi 2005-2008" nævner specifikt følgende om mineraluld: "Potentialet for genanvendelse af mineraluld skal undersøges, herunder udvikling af metoder til genanvendelse og af markedet for genanvendeligt mineraluld".

Med Forprojektet er der taget hul på ovennævnte problematik, idet der her er skabt et overblik over potentialet af brugt stenuld samt foretaget en screening af mulige sorterings- og rensningsmetoder samt logistik. Hovedprojektet vil bidrage til udvikling af metoderne til genanvendelse af brugt stenuld.

4.3 Afgrænsning af hovedprojekt

På baggrund af forprojektets resultater og konklusioner er hovedprojektet gennemført indenfor rammerne af følgende projektmæssige afgrænsninger.

Materiemæssig afgrænsning:

- Projektet omfatter kun brugt stenuld og således ikke andet brugt mineraluld (f.eks. brugt glasuld)
- Projektet omfatter kun let bygningsisolering i form af isoleringsbatts (og eksempelvis ikke asfaltcoatede tagplader, mineraluldsgranulat, o. lign.)

Det skal bemærkes, at afgrænsningen af projektet til kun at omfatte isoleringsbatts, blev fastsat i forprojektet. Teknisk set er der dog intet til hinder for også at genanvende brugt mineraluldsgranulat, såfremt kravene til renhed af materialet overholdes. Der vil dog samtidigt være behov for en strammere styring af produktionsprocessen af ny stenuld hvori der indgår brugt granulat.

Geografisk afgrænsning:

- Projektet teoretiske overvejelser vedrører hele Danmark, men forsøgene har omfattet udvalgte bygge- og nedrivningspladser, der således tjener som eksempel
- Af praktiske årsager udføres forsøg med kildesortering af brugt stenuld på nedrivningspladser i en relativ geografisk nærhed af Rockwool fabrikken i Vamdrup

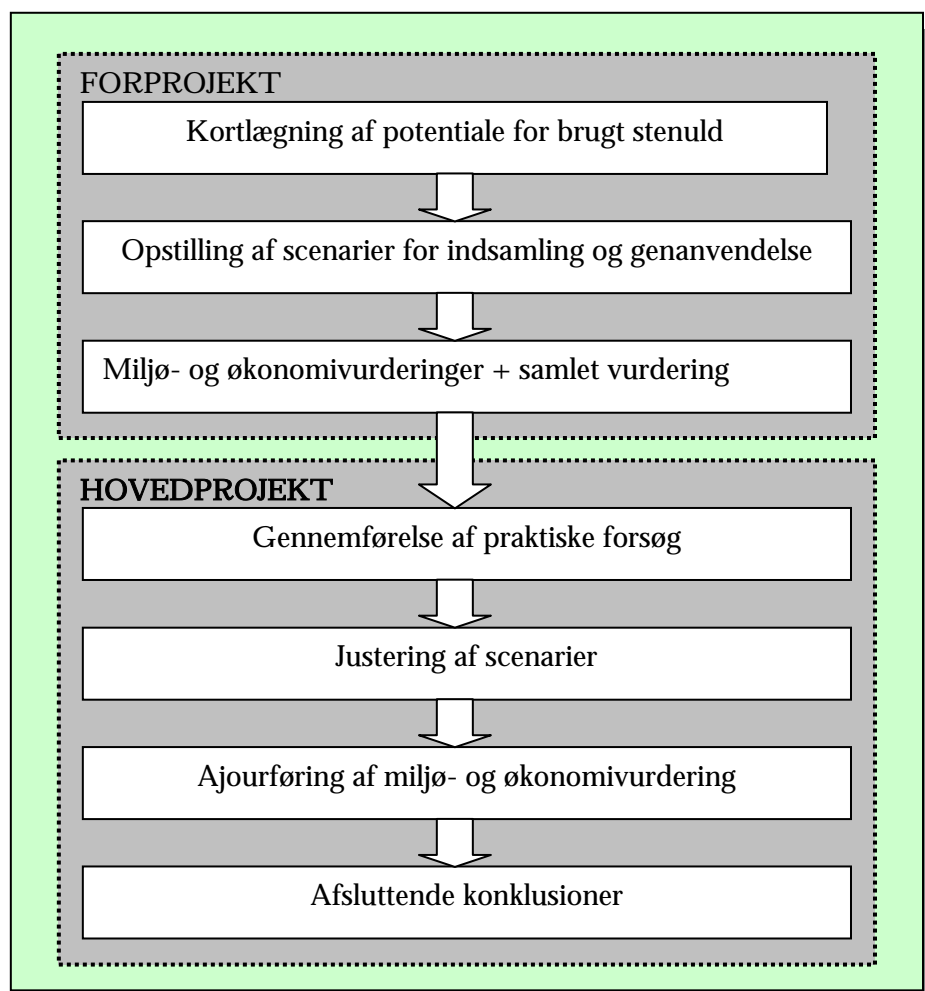
- Alle forsøg med at genanvende brugt stenuld i fremstillingen af ny stenuldsprodukter er gennemført på Rockwool fabrikken i Vamdrup.

4.3.1 Referencesystem

De miljø- og økonomimæssige vurderinger (herunder arbejdsmiljø), som foretages i dette hovedprojekt, laves i relation til, hvordan det eksisterende bortskaffelsessystem for stenuld ser ud i dag. Der ses således på, hvilke økonomiske og miljømæssige omkostninger der er forbundet med den nuværende bortskaffelse af stenuld via deponi, og denne sammenlignes med de omkostninger, som vil være i de genanvendelsessystemer, der sættes op for stenuld. Det eksisterende system vil i det efterfølgende blive benævnt **referencesystemet**.

4.4 Metode

Mens de centrale elementer i Forprojektet var at foretage en indledende vurdering af mulighederne for og konsekvenserne af at genanvende brugt stenuld, har Hovedprojektets væsentligste element været at gennemføre praktiske forsøg for at kunne foretage en realistisk bedømmelse af, om det kan lade sig gøre at genanvende brugt stenuld i fremstillingen af nye stenuldsprodukter. Forsøgene tjener desuden som baggrund for at korrigere de anvendte informationer og data, som vil blive anvendt til opdatering af vurderingen af de miljømæssige og økonomiske forhold ved at genanvende brugt stenuld. Metoden er illustreret i Diagrammet nedenfor.



Figur 1. Principdiagram for anvendt metode i projektet.

4.5 Organisering

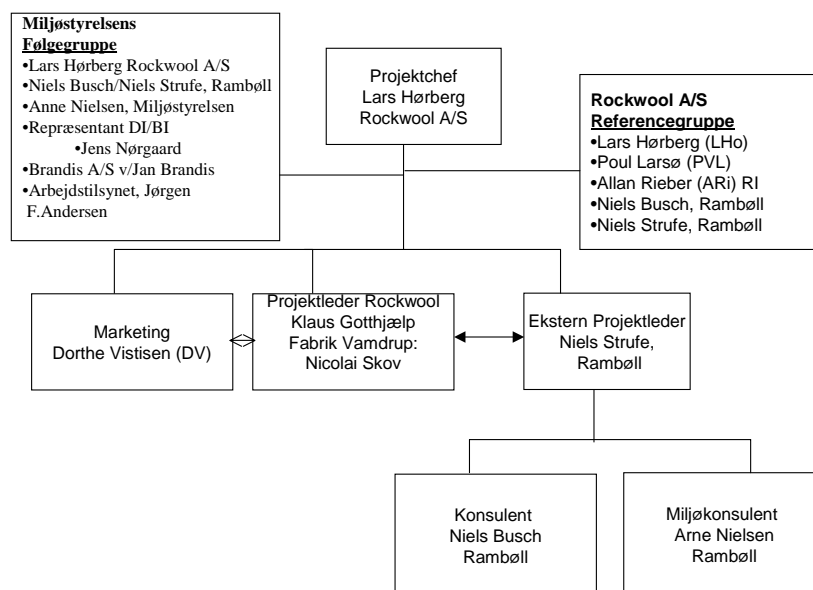
Projektet er gennemført af en projektgruppe bestående af:

- Lars Hørberg, Rockwool A/S
- Poul Larsø, Rockwool A/S
- Allan Rieber, Rockwool A/S
- Dorthe Vistisen, Rockwool A/S
- Klaus Gotthjælp, Rockwool A/S
- Nicolai Skov, Rockwool A/S
- Anne Louise Niemann, Rambøll
- Niels Strufe, Rambøll
- Niels Juul Busch, Rambøll

I forbindelse med projektet har været nedsat en følgegruppe bestående af:

- Anne Nielsen, Miljøstyrelsen
- Jan Brandis, Dansk Byggeri, Nedrivningssektionen
- Jens Nørgaard, Dansk Industri
- Jørgen F. Andersen, Arbejdstilsynet.
- Lars Hørberg, Rockwool A/S
- Niels Juul Busch, Rambøll
- Niels Strufe, Rambøll

Organisationen af hovedprojektet er illustreret i nedenstående figur 1.



Figur 2. Organisation af Hovedprojekt

5 Gennemførelse af forsøg

Dette kapitel beskriver planlægningen og gennemførelsen af praktiske forsøg med udsortering og anvendelse af let bygningsisolering i form af brugt stenuld med henblik på fremstilling af ny stenuld.

5.1 Planlægning af forsøg

Dette afsnit beskriver de overvejelser, der er gennemført for at opstille de rette forsøgsbetingelser og, for at kunne belyse spørgsmålene om mulighederne for at genanvende brugt stenuld.

Forsøgene er opdelt i følgende typer forsøg:

- Forsøg med kildesorteret stenuld og transport direkte til Rockwool fabrik.
- Forsøg med anvendelse af brugt stenuld i fremstillingen af nye stenuldsprodukter hos Rockwool.

Herudover er der gennemført en række interviews med nøgle-operatører indenfor brancherne; nedrivning og genanvendelse af bygge- og anlægsaffald (se 5.4).

Endvidere er der gennemført en vurdering og beregning af de miljø -, arbejdsmiljømæssige og økonomiske forhold ved genanvendelse af stenuld.

I forbindelse med planlægningen af forsøgsrækken blev det af produktionstekniske årsager fastlagt, at alle forsøg med anvendelse af brugt stenuld i fremstillingen af nye stenuldsprodukter, skulle gennemføres på Rockwools fabrik i Vamdrup i Jylland.

Med henblik på at undgå uforholdsmæssige høje transportomkostninger, blev der i forlængelse af dette besluttet, at forsøg med kildesorteret stenuld i videst muligt omfang skulle udføres på nedrivningspladser i relativ geografisk nærhed af fabrikken i Vamdrup.

5.2 Sorterings og rensningsforsøg

5.2.1 Forsøgsplanlægning

Formålet med de praktiske forsøg har været at klarlægge en række spørgsmål, som blev rejst i forbindelse med Forprojektet, og som på forhånd viste ikke at kunne klarlægges gennem Forprojektet.

Blandt de spørgsmål, som man ønskede at få klarlagt via forsøgene er:

- Hvilke muligheder er der for at udsortere brugt stenuld fra affald fra nedrivnings- og renoveringspladser, herunder arbejdsmiljøforhold
- Hvilke muligheder er der for at rense udtaget stenuld
- Vil udsorteringen kræve ekstra tid
- Hvordan er kvaliteten (bl.a. renheden) af det udsorterede stenuld
- Hvilke mængder og størrelser af udsorteret stenuld kan forventes
- Hvordan opnås den bedste logistik for indsamling og transport af brugt stenuld
- Vil der være problemer med plads til ekstra containere til udsorteret brugt stenuld
- Hvad er mulighederne for at anvende det indsamlede brugte stenuld ved fremstilling af ny stenuld

Indledningsvis blev følgende kriterier for valg af testpladser for sorterings- og rensningsforsøg fastlagt:

- Repræsentativitet i forhold til det totale potentiale af brugt stenuld
- Forskellige nedrivningsprojekter (Indvendig contra total nedrivning, kontorbyggeri, industribyggeri m.v.)
- Nærhed i forhold til Rockwool produktion
- Mulighed for mængde til forsøg i produktion
- Kildesortering contra central sortering

Da en nedrivningsentreprenør var udpeget, blev sorterings- og rensningsforsøgene planlagt i samarbejde med denne, herunder fastlæggelse af ønsket mængde til levering på Rockwool fabrikken i Vamdrup.

Før igangsætningen af forsøgene blev de involverede medarbejdere instrueret i:

- Forsøgets formål
- Sorteringsprocedurer
- Kvalitetskrav
- Arbejdsmiljøforhold

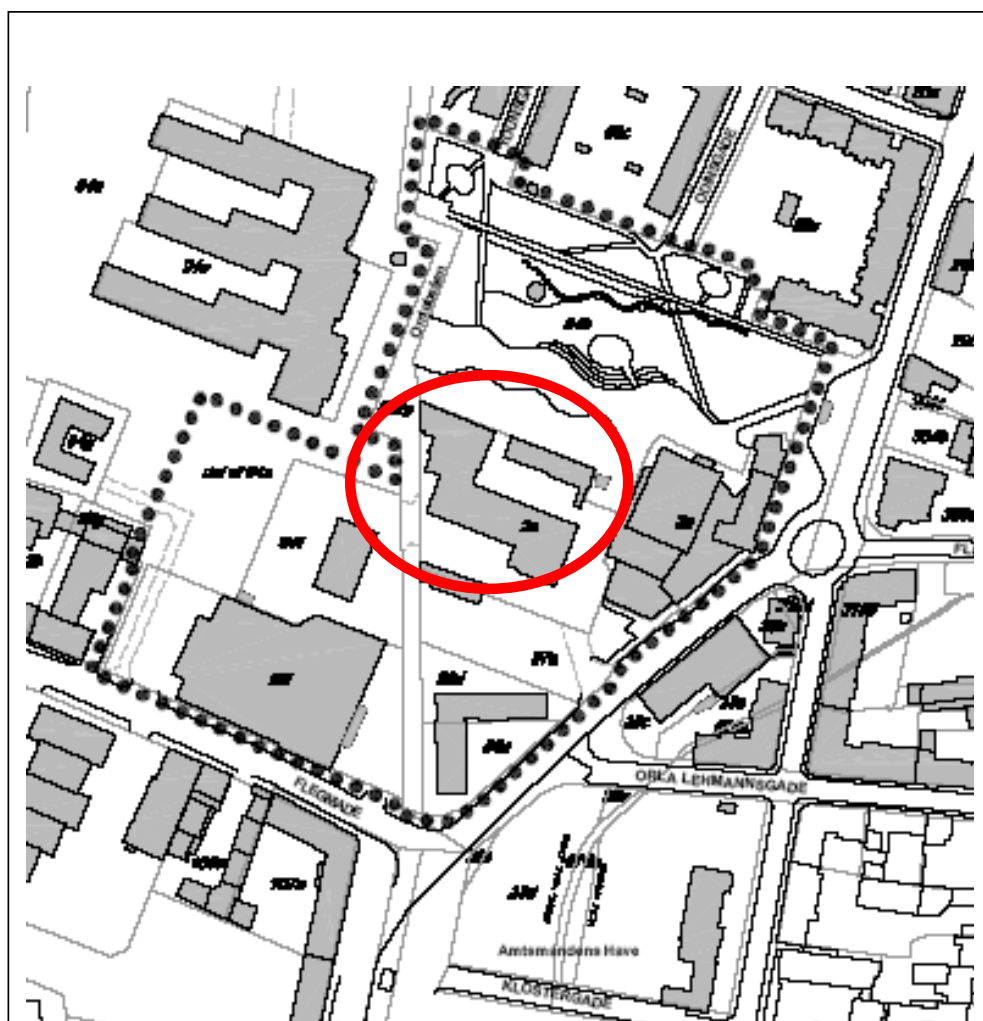
Endvidere aftales udførelsestidspunktet under hensyntagen til nedrivningsentreprenørens entreprisemæssige forpligtigelser og mulighederne for projektgruppens deltagelse på udførelsesstedet.

5.3 Gennemførelse af sorterings- og rensningsforsøg

5.3.1 Forsøg 1: Vejle Gl. Elværk

Flegborg 8, 7100 Vejle Centrum

Nedrivningsentreprenør: Kingo Karlsen A/S, Silkeborg.



Vejle Gl. Elværks bygningers placering i det centrale Vejle.

5.3.1.1 Bygningstype:

Vejle Gamle Elværk er et bygningskompleks opført i røde mursten før 1950, men senere ombygget og tilbygget i flere omgange.

Bygningernes maskineri er fjernet for del år siden, og elværket har haft forskellige midlertidige anvendelser i de senere år.

Bygningerne der nu nedrives indeholder såvel bygningsisolering som teknisk isolering, af såvel stenuld som glasuld. Der er tilsyneladende foretaget efterisolering på et tidspunkt, idet der på lofter fandtes et lag stenuld, dækket med et lag glasuld (se fotos nedenfor).



Nedrivningspladsen



Placeringen af loftisoleringen.

5.3.1.2 Nedrivningstype:

Der var tale om en total-nedrivning, hvilket vil sige, at alle dele af bygningerne blev nedrevet. Der var samtidig tale om selektiv nedrivning, hvilket vil sige, at de nedrevne materialer sorteredes i følgende fraktioner:

- Beton
- Murbrokker (tegl m.v.)
- Metal
- Asbest
- Træ og andet brændbart (f.eks. plast)
- Andet ikke brændbart (mineraluld, imprægneret træ m.v.) samt
- Brugt stenuld.

Udsorteringen af brugt stenuld skete udelukkende i forbindelse med dette forsøg, idet det ellers ville være udsortet sammen med "Andet ikke-brændbart"

5.3.1.3 Procedurer:

Til nedrivningen anvendtes en gravko med udskiftelig grab. Gravkoen rev alle dele af bygningerne ned, i en vis udstrækning selektivt. Resten blev nedrevet som blandet affald. Det blandede affald behandledes derefter på pladsen ved manuel sortering.

I de tilfælde, hvor føreren af gravkoen kunne udtage rene fraktioner direkte, læssede han materialerne over i de containere, der var placeret på pladsen.



Selektiv udtagning af brugt stenuld med grab

I de tilfælde, hvor der ikke kunne udtages rene fraktioner med gravkoen, placeredes de udtagne materialer på pladsen, hvor assistenten sorterede materialerne, og læssede dem op i gravkoens grab, hvorefter de løftedes op i de respektive containere. Det støv eller murbrokker der måtte være på stenulden, faldt i de fleste tilfælde af, når stenulden blev smidt op på grabben.



Manuel udsortering fra blandet fraktion



Læsning af udsorteret brugt stenuld på grabben

Der var ingen problemer med at skelne mellem glasuld og stenuld, da begge materialer forekom i relativt ren form. I tilfælde, hvor der var tvivl om den udsorterede brugte stenuld var af en tilstrækkelig ren kvalitet, blev den ført til den blandede fraktion.

5.3.1.4 Bemanding:

Nedrivningen blev forestået af tre personer:

- En fører af gravkoen,
- En assistent til sortering m.v. samt
- En pladsleder, der planlægger nedrivningen og fører tilsyn.

5.3.1.5 Tidsforbrug:

Det eneste ekstra tidsforbrug, der var i forbindelse udsorteringen af den brugte stenuld var:

- Gravkoens separate udtagning af brugt stenuld, hvor dette forekommer i større mængder, samt ekstra løft af udsorteret stenuld, skønsmæssigt under 1% af arbejdstiden
- Manuel separering af stenulden fra det øvrige affald, skønsmæssigt max. 10% af arbejdstiden.

5.3.1.6 Kvalitet og mængder

Den del af stenulden der var anvendt som loftisolering var Rockwool. Det var placeret løst på loftet, og kunne derfor udsorteres relativt let. Der var tale om 50 mm bats, som oprindeligt har målt 600 x 1000 mm, men som ved nedrivning typisk forekom i mindre stykker (se fotos nedenfor).



Det udsorterede brugte stenuld

Da der blev fundet stykker med varenummer kunne dets produktionstidspunkt i princippet stadfæstes nøjagtigt. Til brug for forsøget er det dog tilstrækkeligt at fastslå, at den brugte stenuld er fra før 1960, hvor Rockwool indførte en væsentlig ny sammensætning af deres produkter.



Udsorteret brugt stenuld med varenummer.

I den bygning, der indgik i forsøget, anslås det, at der var i alt 10 m^3 Rockwool, som blev bragt til Rockwool-fabrikken i Vamdrup for at indgå i forsøget her.

Der forekom også visse mængder bygningsisolering andre steder i bygningen, men der var kun tale om mindre mængder. Endelig forekom mindre mængder teknisk isolering af stenuld, men dette var typisk indpakket eller omviklet med andre materialer, og blev derfor ikke frasorteret.

5.3.1.7 Arbejdsmiljø

Nedrivningsarbejde er generelt set støvende arbejde, indimellem med tunge løft, og risiko for skader f.eks. fra nedstyrtende materialer m.v.

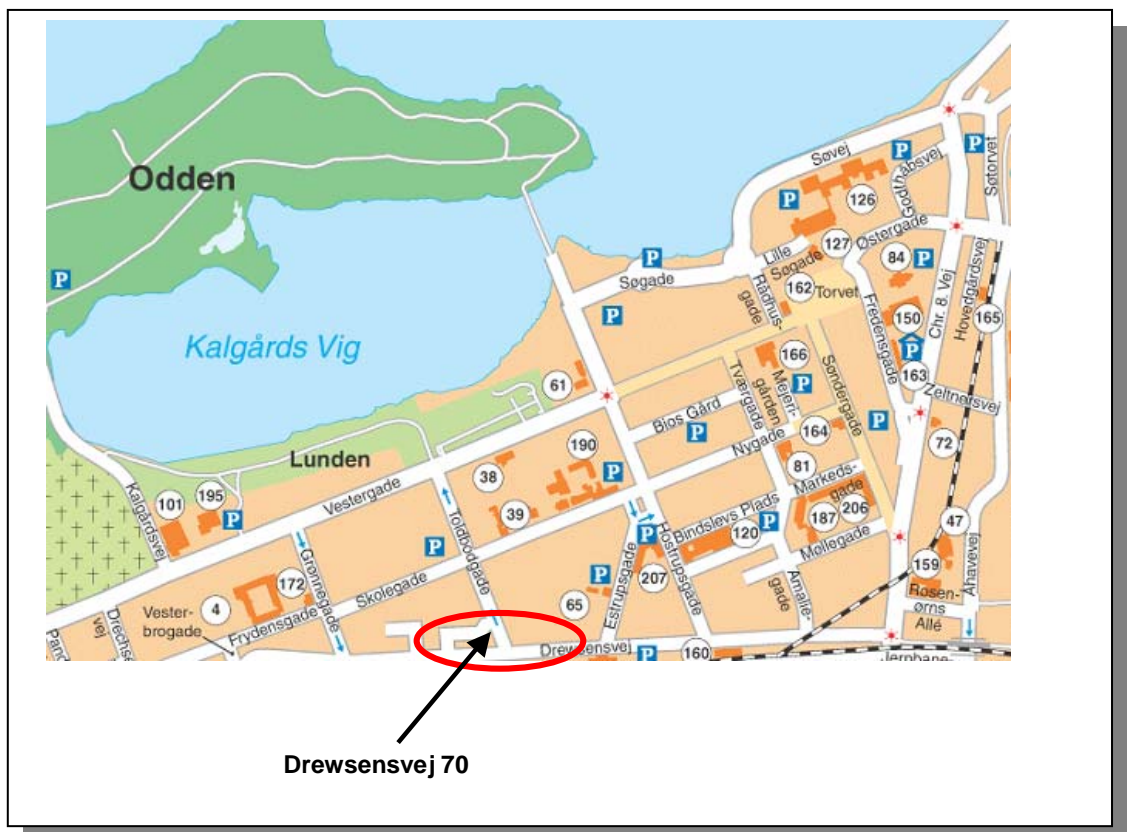
Sikkerhedssko, overtrækstøj, sikkerhedshjelm og åndedrætsværn (min. ansigtsmaske type B2) er således obligatorisk. Personer der foretager manuel sortering er mest udsat.

Det vurderes dog, at arbejdet med udsortering af brugt stenuld ikke forværrer arbejdsmiljøet, idet denne arbejdsproces i forvejen skulle udføres til den selektive udtagning af de diverse materialer.

5.3.2 Forsøg 2: Ombygning af erhvervsjendom til andelsboliger

Drewsensvej 70, 8600 Silkeborg.

Nedrivningsentreprenør: Kingo Karlsen A/S, Silkeborg.



5.3.2.1 Bygningstype:

Byggeprojektet bestod i ombygning af en tidligere kontorbygning fra 1980'erne til andelsboliger. Bygningen er en treetagers bygning i røde mursten. Der var tale om en indvendig (partiel) nedrivning, hvor facade og indvendige bærende konstruktioner skulle bevares. Bygningens isolering bestod primært af let bygningsisolering af stenuld.



Nedrivningspladsen med containere til de forskellige fraktioner.

5.3.2.2 Nedrivningstype:

Der var tale om en indvendig selektiv nedrivning, hvilket vil sige, at de enkelte materialer der blev udtaget, så vidt muligt sorteredes i fraktioner, der enten kunne genanvendes eller behandles specielt.

Med hensyn til stenulden forekom der betydelige mængder hele batts, der var lagt løst som loftsisolering. Kun små mængder forekom i mindre stykker eller gik i stykker under nedrivningen.

I henhold til entreprenøren ville den brugte stenuld, selvom det ikke indgik i dette forsøg, være blevet udtaget separat med henblik på salg til genbrug.



Udtagning af isoleringen på loftet i tagetagen.

5.3.2.3 Procedurer:

Ved nedrivningen skabtes der adgang til loftsrummet ved at slå hul i loftsadskillelsen. Derefter blev de løst placerede stenulds-batts udtaget og kastet ned på gulvet nedenunder. Her stabledes de, hvorefter de blev smidt ud ad en terrassedør, og så vidt muligt ned i en separat container, der var placeret i gården nedenfor. I dette tilfælde var der tilstrækkelig plads omkring bygningen til at placere det nødvendige antal containere til de forskellige fraktioner.



Udtagning af brugt stenuld fra loftsrum



Stabling af den udtagne brugte stenuld

En del af det gipsstøv og husstøv der måtte være på stenulden, faldt af når stenulden håndteredes.

5.3.2.4 Bemanding

Nedrivningen af den brugte stenuld blev foretaget af én person.

5.3.2.5 Tidsforbrug

Det har i dette tilfælde ikke krævet ekstra tidsforbrug at udtage den brugte stenuld til dette forsøg, da den ellers ville være udtaget separat til genbrug, jf. entreprenøren. Det vil sige, at man ville have anvendt de samme procedurer.

5.3.2.6 Kvalitet og mængder

Der blev skønmæssigt indsamlet 10m³ brugt stenuld af fin kvalitet og af nyere dato, svarende til over 90% af det tilstedeværende stenuld. Kvaliteten var så god, at stenulden ville kunne være solgt til genbrug. Der var udelukkende tale om stenuld, så der var ikke problemer med at skelne mellem forskellige typer isoleringsmaterialer.

5.3.2.7 Arbejds miljø

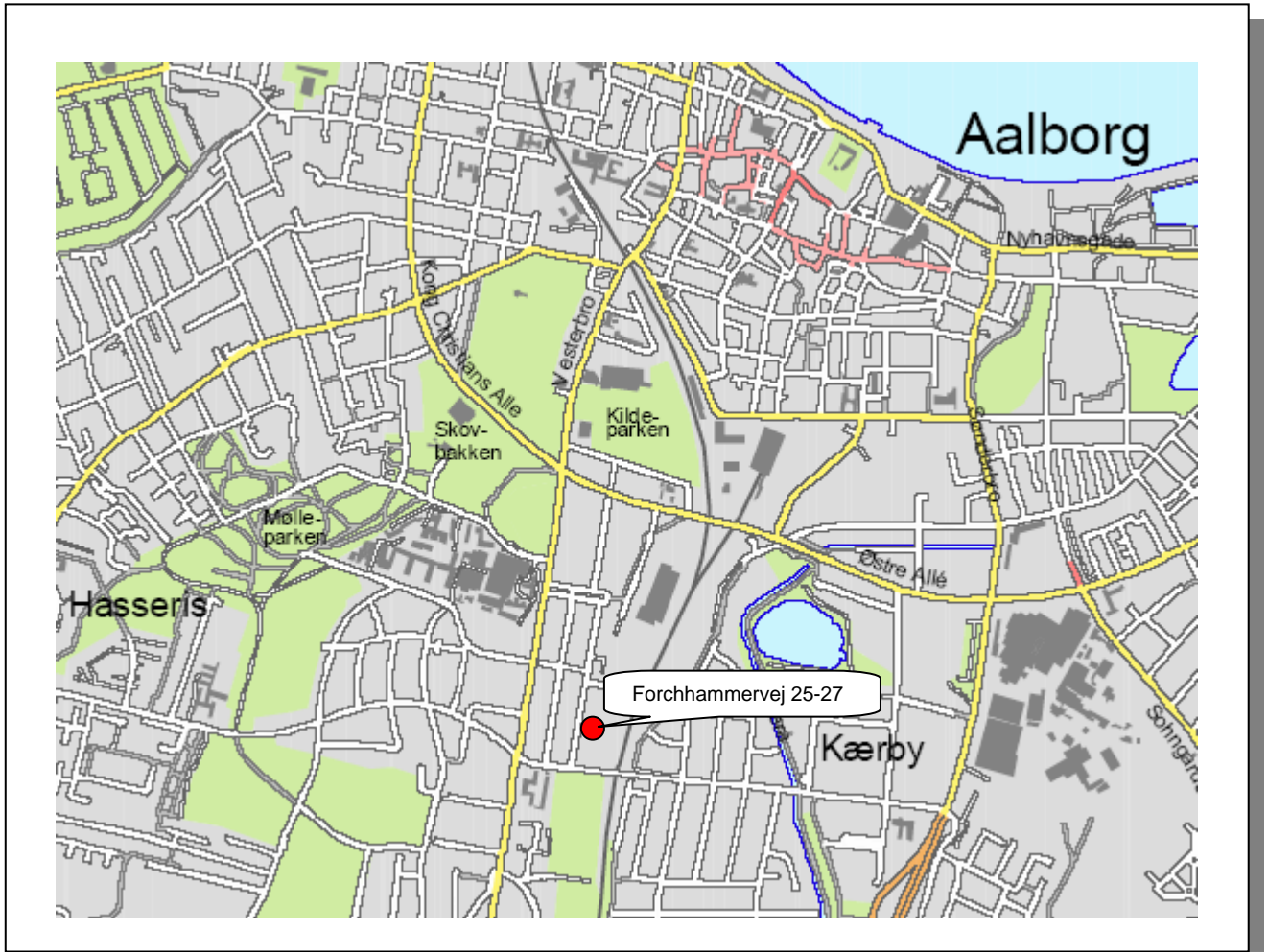
Håndteringen af den brugte stenuld genererer en del støv, men da man ville have brugt de samme håndterings procedurer alligevel, har forsøget ikke resulteret i øgede arbejdsmiljømæssige problemer.

Åndedrætsværn (min. ansigtsmaske type B2) er obligatorisk ved håndteringen af isoleringsmaterialet.

5.3.3 Forsøg 3: Nedrivning af hal på Hjemmeværnets areal

Forchammersvej 25-27, 9000 Aalborg.

Nedrivningsentreprenør: Kingo Karlsen A/S, Silkeborg.



5.3.3.1 Nedrivningstype:

Der var tale om en totalnedrivning af en hal på Hjemmeværnets areal. Der blev først foretaget en indvendig nedrivning, hvorefter bygningen blev totalnedrevet udefra.

I hallen forekom den brugte stenuld som loftisolering lagt over loftsplader samt som isolering i vægge m.v..

I loftet blev foretaget en delvis selektiv nedrivning af de enkelte bygningsdele med grab, som det fremgår af fotos nedenfor. Loftpladerne blev pillet af, hvorefter loftisoleringen faldt ned på gulvet.



Udtagning af isoleringen fra loftet i hallen.

Den brugte stenuld samledes maskinelt i en bunke på gulvet som det fremgår af næste foto.



Maskinelt udsorteret brugt stenuld.

Fra bunken på gulvet blev den brugte stenuld udtaget manuelt som det fremgår af fotoet nedenfor.



Manuel udsortering af den brugte stenuld



Stabling af den brugte stenuld

Det meste af den brugte stenuld, som blev nedtaget forekom som hele batts med ganske ringe forurening af støv.

Den brugte stenuld ville, hvis det ikke indgik i dette forsøg, være blevet udtaget separat med henblik på salg til genbrug.

Den øvrige brugte stenuld, f.eks. murene, kunne ikke udtages ligeså let i samme kvalitet, og indgår derfor ikke i forsøget.

En del af det gipsstøv og husstøv der måtte være på stenulden, faldt af når stenulden håndteredes.

5.3.3.2 Bemanding:

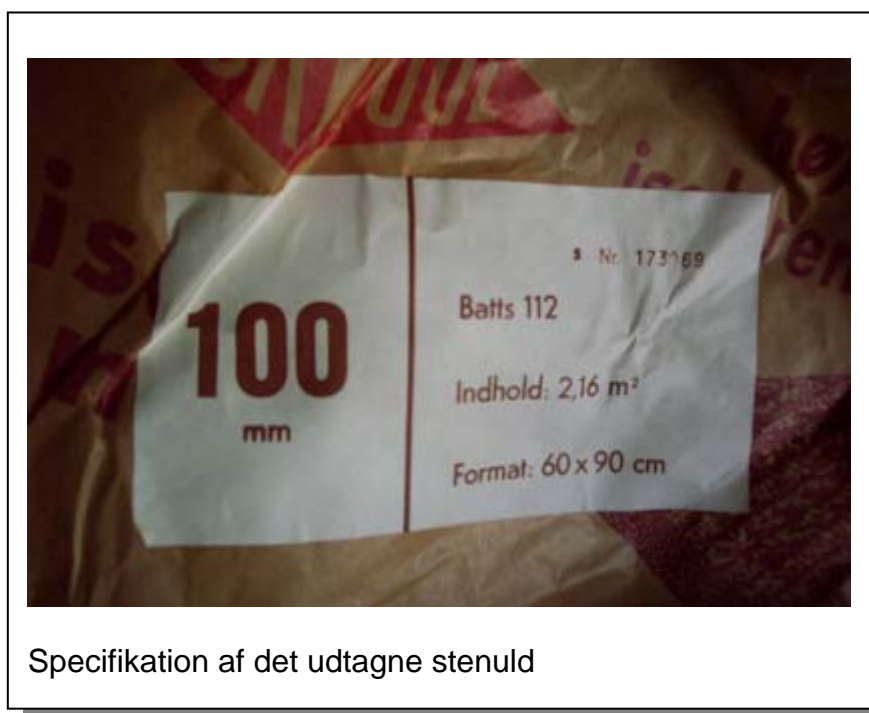
Nedrivningen af den brugte stenuld blev foretaget af to personer, en der betjente gravkøen, en anden der foretog den manuelle sortering.

5.3.3.3 Tidsforbrug:

Det har ikke krævet ekstra tidsforbrug at udtage den brugte stenuld til dette forsøg, da den alligevel ville være udtaget separat til genbrug. Det vil sige, at man ville have anvendt stort set de samme procedurer.

5.3.3.4 Kvalitet og mængder

Der blev skønsmæssigt indsamlet ca. 3 tons brugt stenuld af fin kvalitet, og den skønnes at være produceret før 1960. Der var udelukkende tale om stenuld, så der var ikke problemer med at skelne mellem forskellige typer isoleringsmaterialer.



Specifikation af det udtagne stenuld

5.3.3.5 Arbejdsmiljø

Håndteringen af den brugte stenuld genererede en del støv, men da man ville have brugt de samme håndteringsprocedurer ved enhver nedrivning, har forsøget ikke resulteret i øgede arbejdsmiljømæssige problemer.

Åndedrætsværn (min. ansigtsmaske type B2) er obligatorisk ved håndteringen af isoleringsmaterialet.

5.4 Interview med nøgle-operatører

I relation til de opstillede spørgsmål under afsnit 5.2 gennemførtes en interviewrække med en gruppe udpegede nedrivningsentreprenører og modtageanlæg for bygningsaffald, omfattende

- RGS90 A/S

- Brandis A/S Nedrivning
- Jensen Nedrivning A/S
- Kingo Karlsen A/S

Sidstnævnte entreprenør deltog også i gennemførelsen af de praktiske sorterings- og rensningsforsøg.

Det skal bemærkes, at direktør Jan Brandis fra Brandis A/S Nedrivning endvidere er formand for nedrivningssektionen under Dansk Byggeri og i sin egenskab heraf også har deltaget i projektets følgegruppe.

Til det formål udarbejdedes en vejledende spørgeramme til brug under interviews, hvori vægten blev lagt på følgende emner:

- Arbejdsrutiner
- Arbejds miljø
- Kvalitet og mængder

Eksempel på spørgeramme er vedlagt i bilag A.

5.4.1 Brandis A/S Nedrivning

5.4.1.1 Generelt

Virksomheden Brandis A/S Nedrivning opererer hovedsageligt i hovedstadsregionen. Deres opgaver er fordelt nogenlunde ligeligt mellem renoveringsopgaver og nedrivningsopgaver. Langt den største mængde isolering, som de tager ud af huse kommer typisk fra nedtagning af skillevægge i forbindelse med renovering.

Virksomheden er medlem af Dansk Byggeris (tidl. Entreprenørforeningen) Nedbrydningssektion, og herigennem forpligtet til at overholde brancheaftalen om selektiv nedrivning, der i 1996 blev indgået mellem Entreprenørforeningens Nedbrydningssektion og Miljø- og energiministerens, Boligministeriet m.fl.. Aftalen "Nedbrydningsbranchens Miljøkontrolordning, NMK 96" skal sikre en miljørigtig nedrivning af bygninger bl.a. for at øge genanvendelse. Kravet er, at 80% (vægtmæssigt) af alt materiale, de nedbryder skal genanvendes.

5.4.1.2 Arbejdsrutiner

Arbejdsrutinerne varierer for de enkelte bygningstyper, men også mellem projekterne. Virksomheden forventer ikke en forskel fra praksis i dag, da der allerede sker selektiv nedrivning.

I og med, at virksomheden overholder NMK 96, foretager de allerede kildesortering af en lang række affaldsfraktioner og har indarbejdet arbejdsrutinerne omkring dette. Problemerne vurderes mere at opstå, hvis nedriverne ikke kan se fordelene ved at frasortere stenulden, så vil der enten ikke bliver udsorteret stenuld, eller også vil der blive slækket på kvaliteten af sorteringen. Derfor er økonomi vigtigt for genanvendelsessystemets succes.

Virksomheden mener, at det der skal til for at indføre frasortering af stenuld på bygge/nedrivningspladser dels er økonomi og dels, at der bliver lavet ensartede regler for udsorteringen, og det skal være retningslinjer, der gælder for hele landet, for alle kommuner og ikke som det er nu, at der er forskel fra kommune til kommune. Der er også behov for mere kontrol af, at reglerne bliver overholdt. Nedrivningsbranchen har generelt ikke noget imod regler på området, hvis det er økonomisk holdbart, men kontrol fra myndighederne er vejen frem, hvis det skal kunne lade sig gøre.

Der skal opstilles en ekstra container på nedrivningspladsen, hvilket kan være problematisk at få plads til på nogle nedrivningspladser. En ekstra container vil også betyde øgede omkostninger til transport.

Da virksomheden allerede i dag rutinemæssigt udfører selektiv nedrivning vurderes det, at der ikke vil være et væsentligt ekstra tidsforbrug for udsortering af stenuld på bygge-/nedrivningspladserne.

5.4.1.3 Arbejdsmiljø

Frasorteringen af isoleringsmaterialer sker allerede i dag, så derfor ventes ingen ændring i forhold til eksisterende praksis. Ved udførelse følger virksomheden gældende regler.

5.4.1.4 Kvalitet og mængder

Adskillelse af de to typer isoleringsmateriale, stenuld og glasuld, anses ikke for at være et problem for størstedelen af bygge/nedrivningspladserne, da der oftest enten er blevet brugt den ene eller den anden type isoleringsmateriale.

I dag er stenuld blandet sammen med andet affald til deponi (gips, glas mm.), men da de følger reglerne for selektiv nedrivning, og de dermed tager de enkelte fraktioner ud af bygningerne adskilt, skulle der principielt ikke være noget til hinder for en frasortering af isolering til genanvendelse.

Asbest anses ikke for at kunne blive et problem ved udsortering af stenuld, da asbesten typisk findes i fast tag. Risikoen vil være lille, og der er retningslinjer for eventuel håndtering.

Virksomheden vurderer, at der ikke vil være så store urenheder i pladebatts og i granulat, men der kan være problemer i forbindelse med fejlsortering. Udsorteringen vil opnå bedst kvalitet, hvis der kun er professionelle nedrivere på nedrivningspladsen, således at alle følger kendte regler for, hvad der skal i hvilke containere. Herved undgås misforståelser.

Med hensyn til mulige mængder af stenuld til genanvendelse skønner virksomheden et konservativt bud er minimum 80% af isoleringsmaterialet. Der kan være et problem med granulat i gamle huse, mens pladebatts ikke vurderes at være et problem.

5.4.1.5 Økonomi

Det er virksomhedens holdning, at økonomi skal styre processen omkring genanvendelse af stenuld, ellers bliver systemet ikke en succes. Konjunkturerne i samfundet påvirker byggeriet meget, og derfor sandsynligvis også et system for indsamling af isolering. Hvis der ikke kan

opsættes et system, der balancerer med prisen for at komme af med affaldet på anden vis, så vil det være svært at få det til at køre, og så må eksempelvis kommunerne ind med kontrol af systemet. Et system med ekstra håndtering i forhold til i dag vil uundværligt have flere omkostninger end det nuværende system, det er bare et spørgsmål om, hvem der skal bære denne omkostning.

Som et eksempel på et genanvendelsessystem der forsøger at balancere omkostningerne ved genanvendelse peger virksomheden på systemet for genbrug af gipsplader fra byggeriet. Systemet har indtil videre begrænset succes.

Det er ifølge virksomheden ikke nok, at kommunerne tager et ansvar for øget kontrol med sorteringsystemet, der mangler også støtte fra bl.a. rådgiverne til at øge genanvendelsen. Der peges konkret på et behov for at nedrivningsarbejder bliver styret bedre, i stil med den styring der sker i nybyggeriet. Problemet ved nedrivningsprojekter er, at man ofte ikke ved særligt præcist, hvad der kan forventes at komme i affaldet. Ofte er tilbuddene baseret på erfarings baserede skøn, men den konkrete viden om, hvilken affaldssammensætning der kan forventes, er ikke umiddelbart til at få.

5.4.2 J. Jensen Nedrivning A/S

5.4.2.1 Generelt

Virksomheden J. Jensen Nedrivning A/S opererer i hele Danmark, men omkring 90% af deres opgaver ligger i Københavnsområdet. Der er ansat 60-70 mand i firmaet, og de har deres egne lastbiler og containere, hvilket ikke er typisk for branchen.

Virksomheden er medlem af Dansk Byggeris (tidl. Entreprenørforeningen) Nedbrydningssektion, og herigennem forpligtet til at overholde brancheaftalen om selektiv nedrivning, "Nedbrydningsbranchens Miljøkontrolordning, NMK 96".

5.4.2.2 Arbejdsrutiner

I og med at virksomheden overholder NMK 96 foretager de frasortering af isolering i separate containere, og arbejdsrutinerne er således allerede indarbejdet.

I følge lovgivningen må isoleringsmateriale og gips gerne sammenblandes, men som regel holdes de to affaldstyper separerede, da Københavns og Frederiksbergs kommuner stiller højere krav til adskillelse af affaldet. Nogle kommuner kopierer denne praksis, men virksomheden vurderer, at en af barriererne for en landsdækkende frasortering af bygningsisolering er, at der i øjeblikket er stor forskel på, hvilke krav de enkelte kommuner i Danmark sætter til sorteringskvaliteten af byggeaffaldet.

Frasorteringen af isoleringsmateriale foretages således allerede i dag. Virksomheden mener derfor, at der i dag ikke principielt er noget til hinder for frasortering og genanvendelse af isolering. Den del der lettest vil kunne frasorteres er isolering i skillevægge, hulmursisolering og loftsisolering. Granulat vil ved store mængder typisk blive suget ud med en slamsuger, der kører isoleringen direkte til losseplads. Batts bliver typisk pakket ned i plastposer og båret ud af bygningen til en container.

Da virksomheden allerede i dag udfører selektiv nedrivning vil der således ikke være ekstra tidsforbrug ved udsortering af stenuld, men ellers kommer dette meget an på situationen, og hvilke krav der stilles til renheden, der dog vurderes at kunne blive rimelig høj.

For de nedrivningsfirmaer der ikke pt. udfører udsortering af isoleringsmateriale, enten fordi kommunen ikke sætter krav om det, eller fordi bygherren ikke gør det, mener virksomheden, at der skal et incitament til, enten i form af en økonomisk fordel eller et direkte lovgivningskrav. De mener derfor, at det er meget vigtigt, at alle kommuner i Danmark begynder at sætte direkte krav til selektiv nedrivning.

5.4.2.3 Arbejdsmiljø

Frasorteringen sker allerede, så derfor forventes ingen ændring i arbejdsmiljøtekniske forhold. Ved arbejde med mineraluldsisolering følger virksomheden gældende regler.

5.4.2.4 Kvalitet og mængder

Med hensyn til at adskille stenuld og glasuld under nedrivningsarbejdet mener virksomheden, at adskillelse i størstedelen af tilfældene ikke er et problem, da der oftest enten er blevet brugt den ene eller den anden type isoleringsmateriale. Ved en sammenblanding vil det afhænge af de enkelte situationer, og også af økonomien (tidsforbrug).

Hvad angår eventuelt forurening med asbest, vurderer virksomheden umiddelbart, at dette ikke er et problem.

Generelt vurderes det ikke at være problematisk at udsortere størstedelen af stenulden i en høj renhedsgrad.

5.4.2.5 Økonomi

Virksomheden mener ikke, at der er så stor økonomisk forskel mellem at udføre selektiv nedrivning og at køre blandede affald til deponi, da der skal betales høje miljøafgifter for det blandede affald. Og, der kommer som sagt ingen blandede affaldslæs fra Københavns og Frederiksberg kommuner.

Umiddelbart mener virksomheden, at et system for genanvendelse af brugt stenuld vil blive accepteret i branchen, så længe, at det ikke har økonomiske konsekvenser for entreprenørerne. Virksomheden ser helst, at isoleringen afleveres til genanvendelse end til deponi. Det er derfor meget vigtigt, at finde den økonomiske ligevægt mellem aflevering til deponi og aflevering til genanvendelse: Det påpeges, at dette besværliggøres af, at deponeringsanlæggene i Danmark har forskellige priser for modtagelse. Generelt vil virksomheden være villige til at transportere det brugte isolering så langt, som det kan betale sig.

5.4.3 Kingo Karlsen A/S

Interview med Kingo Karlsen A/S blev udført i tilknytning til gennemførelsen af de praktiske forsøg, og er således indeholdt i erfaringerne fra disse jf. ovenfor under afsnit 5.3.

5.4.4 RGS90 A/S

Som nøgleoperatører indenfor genanvendelsesbranchen hører Råstof og Genanvendelsesselskabet af 1990 A/S blandt de førende virksomheder indenfor modtagelse, sortering, oparbejdning og salg af genbrugsegnete affaldsmaterialer fra bygge- og anlægsbranchen. Virksomheden opererer således en række modtageanlæg fordelt over hele landet.

5.4.4.1 Modtagestationer for bygge- og anlægsaffald

På RGS90 modtagestationer for bygge- anlægsaffald rundt om i landet modtages rene kildesorterede materialer til genanvendelse, samt materialer til forbrænding og deponering. Endvidere modtager anlæggene blandede affaldsfraktioner til sortering, herunder isoleringsmaterialer med henblik på efterfølgende deponering.

I det omfang det vurderes rentabelt udtager RGS90 i dag allerede isoleringsmaterialer til brug i blæsemiddelfremstillingen på selskabets Carbogrit anlæg på Stignæs.

5.4.4.2 Blæsemiddelfremstilling på Stignæs

Carbogrit anlægget på Stignæs er en del af forretningskonceptet under RGS90 Industri. Ideen er, at en række specifikke restprodukter – inklusiv mineraluld - bliver udnyttet som råmateriale ved produktion af glassilikat blæsemidlet Carbogrit.

Isoleringsmaterialerne indgår i produktionen sammen med andre affaldsprodukter (bl.a. slam) i en komposteringsproces, hvor isoleringsmaterialerne fungerer som "belufter". Efter kompostering indgår dette som råmateriale i en termisk proces i forbindelse med produktion af Carbogrit, som oparbejdes til blæsemiddel.

I henhold til RGS90 er der set fra virksomhedens synsvinkel ikke et umiddelbart incitament til at indgå i etablering af et yderligere genanvendelsessystem for isoleringsmaterialer. Ved en eventuel fremtidig etablering af et system vil virksomheden naturligvis overveje hvorledes den kan indgå i et sådant system.

5.5 forsøg med anvendelse af brugt stenuld i produktionen af ny stenuld

Indledningsvis blev der udarbejdet følgende kravspecifikationer til forsøg med brugt stenuld gældende for Rockwool fabrikkerne i Øster Doense (DOE) og Vamdrup (VAM).

5.5.1 Planlægning af forsøg

Det blev aftalt, at fabrikken i Vamdrup (VAM) deltog i de første forsøg med modtagelse og behandling af brugt stenuld stammende fra nedbrydningsentrepriser.

Indledningsvis blev følgende emner identificeret som at skulle afdækkes i forbindelse med gennemførelsen af forsøg på Rockwool fabrik:

- Det ønskes så vidt muligt oplyst hvilket år ulden er (menes at være) produceret til en vurdering af den kemiske sammensætning. Ulden kan leveres fra flere projekter, som så alle ønskes dateret.
- Ved forsøget vil stenulden gå til briketproduktion uden brug af andet uld. Denne briket-type vil blive chargeret alene til én linie under produktion. Således vil dette illustrere den størst mulige afvigelse i kemi, der kan forventes.
- Under forsøget tages prøver ud til kemisk bestemmelse på stangmøllemel, færdig briket og færdig uld.

Den interne omkostning ved forsøg blev indledningsvis estimeret til ca. 225 kr/ton brugt stenuld i VAM og ca. 300 kr/ton stenuld i DOE.

5.5.2 Kravspecifikation for brugt stenuld til genanvendelse

Kravspecifikation er udarbejdet med henblik på brug for aftaler ved modtagelse og behandling af brugt stenuld i Rockwool-processen, gældende for den eksisterende situationen i dag ved forsøg.

Kravspecifikation for brugt stenuld til modtagelse på DOE og VAM er vedlagt i bilag B.

5.5.3 Gennemførelse af forsøg med brugt stenuld i produktionen af ny stenuld

Der blev til forsøg med produktion af ny uld med brugt stenuld, modtaget i alt ca. 5 tons brugt stenuld, stammende fra de føromtalte nedrivningsprojekter, leveret til fabrikken i Vamdrup.

5.5.3.1 Forsøgsresultater

Når den brugte stenuld er modtaget på fabrikken (kildesorteret) bliver den findelt i en form for grovhakker, og derefter kommer den i stangmølle, en form for tromle. I stangmøllen knuses ulden til pulverform, hvorved rumvægten per kubikmeter øges. Den optimale rumvægt er 1.000 kg/m³ eller derover. Hvis denne ønskede vægt ikke opnås den første gang, kommer ulden igennem stangmøllen igen indtil et acceptabelt niveau nås.

Når ulden har opnået den ønskede rumvægt tilsættes den fremstillingen af cementbriketter, som er en del af råvarerne til fremstilling af nyt uld.

5.5.3.2 Fiberkemiske analyser

Der blev på fabrikken i Vamdrup gennemført rutinemæssige fiberkemiske analyser af materialerne i forbindelse med forsøgene. Resultaterne heraf fremgår af bilag C.

Ved produktion af ny stenuld anvender Rockwool i dag nogle procentvise toleranceværdier med hensyn til den kemiske sammensætning af fibre, ligeledes angivet i bilag C. Dette er med henblik på overholdelse af de tyske RAL standarders fastsatte krav om bioopløselighed, hvorved mineralulden ikke registreres som farligt stof, jf. standarderne [RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung].

Det ses af analyseresultaterne, at det anvendte brugte stenuld på flere punkter afviger fra de i RAL standarden foreskrevne toleranceniveauer.

I produktionsprocessen afhjælpes dette ved at styre den materiale- og doseringsmæssige sammensætning ("charge") af de forskellige råvarekomponenter i produktionen. Dette medfører følgelig ekstra krav til håndteringen og produktionsprocessen ved anvendelse af brugt stenuld.

5.6 Vurdering af gennemførte forsøg

Herunder redegøres for forsøgenes resultater.

5.6.1 Sorterings- og rensningsforsøg

Sorteringsforsøgene med kildesortering og rensning på nedrivningspladserne har vist, at det er muligt at opnå en næsten fuldstændig adskille af stenuld og glasuld, samt at det vil være realistisk at antage, at gennemsnitligt 90% af stenulden fra renoveringer og nedrivninger vil blive udsorteret og kørt til genanvendelse. Denne mængde er anderledes end i forprojektet, hvor det blev antaget at mellem 75-80% af det brugte stenuld ville gå videre i genanvendelsessystemet, men at der til gengæld ville være mellem 20-25% glasuld iblandet stenulden, fordi det ville være svært at adskille de to typer isoleringsmaterialer fra hinanden.

I hovedprojektet bliver der således beregnet på basis af ca. 90% af 6.276 ton/år, svarende til i alt ca. 5.609 ton stenuld/år til genanvendelse (potentielt).

Hvad angår stenuld indsamlet på Bornholm, anses det dog som anført senere (se kapitel 7) ikke for realistisk at genanvende stenulden herfra, bl.a. grundet den store transportafstand. Mængden af indsamlet stenuld på Bornholm antages derfor at indgå i den mængde som forventes deponeret.

Fordelt på amter efter samme nøgle som i forprojektet bliver mængder og fordelingen mellem landsdelene således som vist i nedenstående tabel 3.

Tabel 3: Fordeling af potentiale af genanvendeligt brugt stenuld

Amt	Genanvendelse, ca. 90% af isoleringspotentiale (ton)	Landsdel
Københavns Amt	847	2.178 3.432
Frederiksborg Amt	506	
Roskilde Amt	341	
Vestsjællands Amt	262	
Storstrøms Amt	222	
Fyns Amt	510	
Sønderjyllands Amt	284	
Ribe Amt	277	
Vejle Amt	464	
Ringkøbings Amt	358	
Århus Amt	721	

Amt	Genanvendelse, ca. 90% af isoleringspotentiale (ton)	Landsdel
Viborg Amt	273	
Nordjyllands Amt	544	
Bornholms Amt	0	0
Total:	5.609	5.609

De her anførte tal er anvendt ved de efterfølgende miljømæssige og økonomiske modelberegninger.

5.6.2 Forsøg med anvendelse af brugt stenuld i produktionen af ny stenuld
Neddelingen af brugt stenuld – og anden overskudsuld – til produktion af ny uld, skal neddeles til en fraktion svarende til stangmøllemelet. Dette er vigtigt, da binderen i ulden er organisk, og organiske materialer arbejder ikke specielt godt sammen med den cement, som anvendes i briket fremstillingen. Ved at øge rumvægten og også konsistensen på melet (ulden) optimalt, udlignes denne forskel og dermed også problemet mellem de to typer materiale til dels.

Den fiberkemiske analyser udtages fra stangmøllemelet og anvendes til at styre doseringsmængden og materialesammensætningen i produktionen. Analyserne udføres løbende på eget laboratorium. De kemiske undersøgelser af brugt stenuld fra Vamdrup viser, at der er afvigelser i den fiberkemiske sammensætning i forhold til fabrikkens normale briket og affald. Såfremt der er afvigelser i forhold til de i RAL fastsatte bestemmelser, justeres produktionen ind ved at justere *chargen*, dvs. den doseringsmæssige sammensætning i produktionen.

Forskellen i fiberkemisk sammensætning skyldes umiddelbart de konkrete forskelle i fiberkemi mellem den nuværende produktion af stenuld (indført i starten af 1990'erne) og den stenuld som fremstilledes i den periode, hvorfra den brugte stenuld stammer fra (typisk fra 1950-60'erne).

Dette har i praksis betydning for Rockwools overholdelse af de i RAL standarderne fastsatte kriterier for mineraluldsfremstilling.

Forsøgene viser, at den nuværende kapacitet og produktionsudstyr kan give problemer med at sikre den rette dosering af brugt stenuld til cementbriketterne. Dette problem må forventes at blive tydeligt, såfremt der skal håndteres store mængder af brugt stenuld.

Med henblik på at etablere et genanvendelsessystem for brugt stenuld på fabrikken er den umiddelbare konklusion herpå, at der er et behov på fabrikken for udvikling og etablering af et eller flere værktøjer til styring af det affald, der modtages til produktionen (se også 5.6.2).

6 Vurdering af tekniske forhold

I dette kapitel foretages en vurdering af de tekniske forhold på baggrund af resultaterne fra forsøgene. Vurderingen skal bl.a. give et skøn over om de anvendte procedurer i forsøgene er de optimale, eller om de bør modificeres ved etablering af permanente indsamlings- og genanvendelsessystemer for brugt stenuld.

De tekniske forhold omfatter:

- Sorterings- og rensningsprocedurer
- Kvalitet (renhed og størrelser) af udsorteret brugt stenuld
- Oplagring
- Transport
- Produktion.

Kapitlet afsluttes med forslag til teknisk mulige sorterings- og indsamlingsmetoder, som i de efterfølgende kapitler vurderes med hensyn til miljø og økonomi.

6.1 Sorterings- og rensningsprocedurer

Som det fremgår af beskrivelserne af de gennemførte forsøg samt interviewene med nøglepersoner i nedrivningsbranchen er selektiv nedrivning en fast procedure hos mange nedrivningsfirmaer, i hvert fald hos de store nedrivningsfirmaer.

Dette betyder ofte, at mineraluld udsorteres separat med henblik på deponering, eller hvis der forekommer større mængder hele batts, genbrug blandt private.

Udsortering sker enten maskinelt ved større mængder, der er let tilgængeligt for gravkoer, eller manuelt ved indvendige nedrivninger eller total nedrivninger, hvor udsorteringen ikke kan foretages maskinelt.

I det fleste tilfælde hvor bygningsisolering – og især loftsisolering – udtages vil isoleringsprodukterne forekomme i så ren kvalitet, at rensning ikke vil være påkrævet. I andre tilfælde vil selve håndteringen af mineralulden betyde, at evt. støv og andre forureninger falder af uden videre.

I de tilfælde, hvor isoleringsprodukterne er stærkt forurenet eller integreret i andre nedrivningsmaterialer vil det kræve rensning, hvilket sjældent vil kunne betale sig.

6.2 Kvalitet af udsorteret brugt stenuld

Den kvalitet af den brugte stenuld, som er udsorteret i forbindelse med forsøgene, er af så høj kvalitet, at den umiddelbart svarer til de af Rockwool fabrikkerne opstillede leveringskrav (se bilag B), og kan således anvendes af Rockwool fabrikkerne uden nævneværdig yderligere bearbejdning, forudsat nødvendige investeringer, jf. nedenfor.

6.3 Oplagring

I forbindelse med gennemførelsen af nærværende forsøg med kildesortering af brugt stenuld, har der ikke været registreret behov for etablering af ekstraordinære oplagringsforanstaltninger.

Mange nedrivninger foregår i byområder, hvor der generelt kan forekomme problemer med at få plads til materiel, og de containere som den brugte stenuld skal opsamles i.

Det kan således være nødvendigt for nedrivningsentreprenøren at etablere midlertidige, eventuelt decentrale, depoter for det udsorterede brugte stenuld, eller inddele udsorteringen af de enkelte materialefraktioner i forskellige faser. Dette vil i så fald medvirke til at forsinke og fordyre kildesorteringen.

I praksis sker der i dag typisk en løbende udsortering og transport fra nedrivningspladser direkte til modtagestationer for bygge- og anlægsaffald.

6.4 Transport

Transportbehovet fra nedrivningspladsen til Rockwool fabrikken eller en opsamlingsplads varierer meget alt efter, hvor i landet nedrivningen finder sted.

De to Rockwool fabrikker, der kan modtage brugt stenuld ligger dels i Vamdrup, i den nordlige del af Sønderjylland, tæt på trekantsområdet, dels i Øster Doense, tæt ved Hobro i Himmerland.

De tættest befolkede dele af Jylland og dele af Fyn må således betegnes som værende godt dækket af de to fabrikker. For Sjællands vedkommende er transportafstanden betydelig, og der skal betales broafgift for at komme frem til fabrikkerne.

Det vurderes derfor, at hovedparten af den stenuld som transporteres til Rockwool fabrikkerne til genanvendelse vil komme fra nedrivninger i Jylland og på Fyn, eventuelt via regionale indsamlingsstationer.

Med henvisning til interview med genanvendelsesvirksomheden RGS90 (se 5.4.4) vurderes det, at den andel af genanvendeligt stenuld, som produceres på sjælland, hovedsageligt vil blive transporteret til genanvendelse på Carbogrit fabrikken på Stigsnæs, og således indgå i fremstillingen af

blæsemiddel. Der henvises endvidere til efterfølgende afsnit 7 vedrørende forskellige modeller for indsamling og genanvendelse af stenuld.

6.5 Produktion af ny uld med genanvendt stenuld

På baggrund af de gennemførte forsøg på fabrikken i Vamdrup kan opstilles følgende kravspecifikationer til brugt stenuld ved modtagelse og forbehandling (se også bilag B) samt til produktionsprocessen. Specifikationerne er opstillet for henholdsvis eksisterende forhold (som ved gennemførelse af forsøg) og for fremtidige forhold ved en eventuel investering.

6.5.1 Eksisterende forhold

Specifikationer til brugt stenuld, ved nuværende situation og forsøgskørsler, omfatter:

- 1) Granuleret. Maksimum størrelse 100 x 200 x 70 mm.
- 2) Jo mere ulden er findelt jo bedre. Idealtilstanden er stangmølleformalet uld 500 kg/ m³
- 3) Forsøgsstørrelse på brugt stenuld max 500 x 500 mm, dette afhængig af tykkelsen. Alt over 100 mm er der ingen begrænsning for størrelsen.
- 4) Maksimalt indhold, fremmedstoffer (alt andet end oprindeligt produkt, organisk materiale generelt ,maling, opløsningsmidler, asfalt, plast, papir, mm) 0,5 – 1,0 %
- 5) Der må ikke forefindes beton, mursten og metalgenstande i ulden.
- 6) Kapacitet: Maksimal mængde pr. døgn =5 tons => 5 døgn pr. uge. 48 uger pr. år. I alt: 1.200 tons/år (teoretisk max).
- 7) Ulden skal leveres pr. bil, således at den kan tippes af i affaldshal.
- 8) Der skal ringes dagen i forvejen om forventet ankomsttidspunkt.
- 9) Aflæsning kan kun foregå i tidsrummet mellem 07.00 og 13.00 på hverdage.
- 10) Der kan forekomme dage, hvor egen spildmængde er så stor, at det ikke er muligt at modtage retur uld.

Omkostninger internt i VAM vil ved eksisterende forhold udgøre ca. 225 kr/ton brugt stenuld (tilsvarende som ved forsøg).

6.5.2 Nye forhold ved investering

Specifikationer til brugt stenuld, hvis der investeres i anlæg/udstyr omfatter:

- 1) Maksimal mængde pr uge 200 tons => 48 uger pr. år. I alt: 11.000 tons/år.
- 2) Ulden skal leveres pr. bil således, at den kan tippes af i affaldshal.
- 3) Der skal ringes dagen i forvejen om forventet ankomsttidspunkt.
- 4) Aflæsning kan kun foregå i tidsrummet mellem 07.00 og 13.00 på hverdage.
- 5) Der kan forekomme dage, hvor egen spildmængde er så stor, at det ikke er muligt at modtage retur uld.

Omkostninger internt på fabrikken i VAM vil udgøre ca. 150-175 kr/ton brugt stenuld modtaget.

I produktionsprocessen, hvori brugt stenuld indgår, vil den brugte stenuld i praksis blot indgå som en mindre procentdel af den uld som allerede anvendes i produktionen i form af overskud/spild og afskæringer, stammende fra ny uld. Eksempel på varedeklaration af stenuld og procentvise fordeling af råvarer fremgår af nedenstående tabel.

Tabel 4: Fordeling af råvarer ved produktion af ny stenuld

Varedeklaration for Rockwool stenuld	
Natursten af typen diabas og bauxit, ler og kalk	55-65%
Restuld og andre spildprodukter	30-40%
Cement og jern	3%
Bindemiddel (bakelit fremstillet af fenol, formaldehyd, ammoniak, urea og kalk)	2%
Mineralsk olie	<1%

I teorien erstatter den brugte stenuld dog råmaterialet **diabas**, en vulkansk sten art, der importeres fra bl.a. Sverige. Prisen på **diabas** ved produktion ligger pt. i omegnen af 130 kr/ton.

6.5.3 Nødvendige investeringer ved etablering af en permanent ordning
Ved en eventuel etablering af en permanent modtagelsesordning for brugt stenuld forventes stenulden at ville blive tilført i en jævn strøm til den almindelige behandling af uld. Herved vurderes effekten af afvigende kemi i gammel uld at være minimal i forhold til dagens kemi i ny uld.

For at optimere behandlingen er det nødvendigt at gennemføre investeringer på fabrikkerne i både Vamdrup (VAM) og Øster Doense (DOE). Primært er der behov for en neddeler, som giver mulighed for at modtage mere uhomogen stenuld, hvad angår størrelse og renhed.

Forventede nødvendige investeringer:

- Neddeler til affald med føde system.
- Transportsystem fra neddeler til kasseføder til stangmølle eller ekstra kumme.
- Magnet separation fra neddeler.
- Ekstra kumme.
- Ny stangmølle da kapaciteten på den nuværende er for lille.

Grundet miljømæssige krav (støv og støj) skal fabrikken i Øster Doense endvidere have en lukket modtagestation for brugt stenuld, hvilket kan etableres ved overdækning af eksisterende affaldsgård.

Nødvendige investeringer ved permanent genanvendelsesordning (overslag) og estimeret kapacitet er nærmere angivet i afsnit 9.1.3.

Omkostninger til investeringer vil således komme til at ligge på omkring 5 millioner kroner og medfører en kapacitetsforøgelse for brugt stenuld på helt op til 11.000 tons/år. Etablering af et sådant genanvendelsessystem vil således

være fremtidssikret i forhold til de forventede fremtidige mængder af brugt stenuld.

Med investering i ovennævnte vil kravene til uldens beskaffenhed samtidigt blive stærk reduceret og Rockwool vil endvidere blive i stand til at modtage bl.a. trådvævsmitter og urent affald dvs. affald med fremmedlegemer som nævnt ovenfor (se 6.5.1, punkterne 4 og 5) dvs. alt andet end oprindeligt produkt, herunder organisk materiale generelt, maling, opløsningsmidler, asfalt, plast, papir, mm) dog maksimalt 5% af vægt.

Det skal dog nævnes, at det vurderes, at en genanvendelsesordning vil (afhængigt af tilgangen af uld og omfanget af investeringer) kunne medføre behov for at noget af stenulden behandles i weekenden pga. kapaciteten på stangmøllen.

Anvendelse af brugt stenuld i produktionen af ny uld erstatter i princippet en mængde nye råvarer. Mængdemæssigt vil brugt stenuld ifølge Rockwools beregninger være af en så begrænset volumen (<5%) i forhold til den samlede mængde nye råvarer og en endnu mindre procent-del i forhold til returulden¹, at dette forhold ikke indgår i projektets miljømæssige og økonomiske beregninger.

¹ Returuld er nyproduceret stenuld, der enten er afskær eller som ikke lever op til kvalitetskravene og derfor recirkuleres.

7 Modeller for indsamling og genanvendelse af brugt stenuld

På baggrund af de gennemførte forsøg og interviews foreslås følgende modeller at ligge til grund for beregningerne. Dette indebærer visse ændringer af modellerne i forhold til dem, der blev opstillet i Forprojektet, og dermed også de beregninger der blev gennemført.

I modellerne for genanvendelse forudsættes det, at så meget brugt stenuld som muligt kildesorteres og renses på diverse nedrivningspladser og leveres enten direkte til Rockwool fabrikkerne eller anden genanvendelse/-videreudnyttelse eller via regionale indsamlingsstationer. Der forventes en genanvendelsesprocent på ca. 90% af potentialet, svarende til 5.609 tons (2003). Resterende ca. 10% forventes fortsat deponeret. I de her opstillede modeller, anvendes de i afsnit 5.6.1 anførte fordelingsmængder af brugt stenuld.

Det vil være forventeligt, at en del af det brugte stenuld, der udsorteres øst for Storebælt vil blive komprimeret på grund af lange transportafstande. Alt brugt stenuld øst for Storebælt transporteres til Carbogrit anlægget på Stignæs.

Det kildesorterede stenuld vil enten blive leveret direkte til behandlere/fabrik eller blive leveret via regionale sorterings- eller oparbejdningsanlæg som komprimerer det indsamlede stenuld for dermed at reducere transportomkostningerne.

Da der kun er Rockwool fabrikker i Jylland (Vamdrup og Øster Doense) skal det brugte stenuld til genanvendelse bringes hertil til oparbejdning.

Basis forudsætninger for modeller til indsamling og genanvendelse af brugt stenuld:

- Kildesorteret og rensed stenuld fra nedrivningspladser på Fyn og i Jylland, transporteres direkte til Rockwools fabrikker i Vamdrup og Doense, delvist via regionale indsamlingsstationer
- Kildesorteret og rensed stenuld fra nedrivningspladser på Sjælland transporteres via regionale indsamlingsstationer, til videreudnyttelse på Stignæs til brug i fremstilling af blæsemiddel på Carbogrit anlæg. Denne andel af brugt stenuld går således ikke til Rockwool. Alternativt, går stenuld, via regionale indsamlingsstationer, delvist til Stignæs, delvist til Rockwool.

Ovenstående afgrænsning medfører, at der ses på tre modeller for indsamling og genanvendelse af brugt stenuld . Én model for et genanvendelsessystem for brugt stenuld baseret på en geografisk opdeling med to parallelle systemer (tostrengt) til slutdisponering (se også afsnit 5.4 og 6.4), omfattende:

Model 1
<ul style="list-style-type: none"> • Genanvendelse af brugt stenuld (Vest for Storebælt) til nye stenuldsprodukter hos Rockwool, mængde = 3.431 tons. • Videreudnyttelse af brugt stenuld (Øst for Storebælt) til fremstilling af blæsemiddel hos RGS90, mængde = 2.178 tons

Figur 3. Model 1: Levering af alt brugt kildesorteret stenuld til genanvendelse og videreudnyttelse

Model 1 vurderes ud fra de gennemførte undersøgelser, at være den mest realiserbare model.

Samt en funktionsbestemt model for et genanvendelsessystem for brugt stenuld baseret på en delvis geografisk opdeling samt to systemer til slutdisponering, men med hovedvægten på levering til genanvendelse, omfattende:

Model 2
<ul style="list-style-type: none"> • Genanvendelse af brugt stenuld til nye stenuldsprodukter hos Rockwool (Vest for Storebælt), mængde = 3.431 tons. • Delvis Videreudnyttelse af brugt stenuld (Øst for Storebælt) til fremstilling af blæsemiddel, mængde = 1.089 tons, samt • Delvis genanvendelse af brugt stenuld (Øst for Storebælt) til nye stenuldsprodukter hos Rockwool, mængde = 1.089 tons.

Figur 4. Model 2: Levering af brugt kildesorteret stenuld til primært genanvendelse samt videreudnyttelse

Model 2 kan eventuelt berettiges i nødvendigheden for tilstrækkelige mængder brugt stenuld tilført til Rockwool.

Til begge modeller skal bemærkes, at produktionen af blæsemiddel på RGS90's Carbogrit anlægget på Stignæs er baseret på et genanvendelseskoncept omfattende en returordning for brugt blæsemiddel. Dette returprodukt kan efter rensning indgå i produktionen af nye stenuldsprodukter, hvilket i et vist omfang allerede finder sted i dag. Teoretisk set vil alt brugt stenuld således kunne genanvendes til nye stenuldsprodukter.

Til sammenligning er endvidere opstillet en mere teoretisk model for et genanvendelsessystem baseret på, at alt indsamlet stenuld transporteres til genanvendelse på Rockwool fabrikkerne i henholdsvis Vamdrup og Øster Doense.

Model 3
<ul style="list-style-type: none"> • Genanvendelse af al brugt stenuld til nye stenuldsprodukter hos Rockwool, mængde = 5.609 tons.

Figur 5. Model 3: Levering af brugt kildesorteret stenuld til genanvendelse

Det er en generel forudsætning, at et genanvendelsessystem for lette isoleringsmaterialer, i lighed med genanvendelse af andre bygningsmaterialer, er baseret på princippet om kildesortering. Endvidere forudsættes det, at brugt stenuld til genanvendelse fritages for affaldsafgift.

Hvad angår stenuld indsamlet på Bornholm, anses det som tidligere anført ikke for realistisk at genanvende stenulden herfra. Genanvendelse vil bl.a. nødvendiggøre etablering af system for indsamling, transport og omlastning i flere led, både før og efter en udskibning til Rockwool fabrikken i Vamdrup. Mængden af indsamlet stenuld på Bornholm antages derfor at blive deponeret.

Modellerne er uddybet i efterfølgende afsnit med angivelse af den procentvise fordeling af stenulden i de forskellige "strømme", transportafstande, m.v.

Til illustrering af den geografiske spredning af de opgivne modeller, er på nedenstående kort angivet placeringen af Rockwool fabrikkerne i henholdsvis Øster Doense og Vamdrup samt RGS90 Carbogrit anlæg på Stignæs.

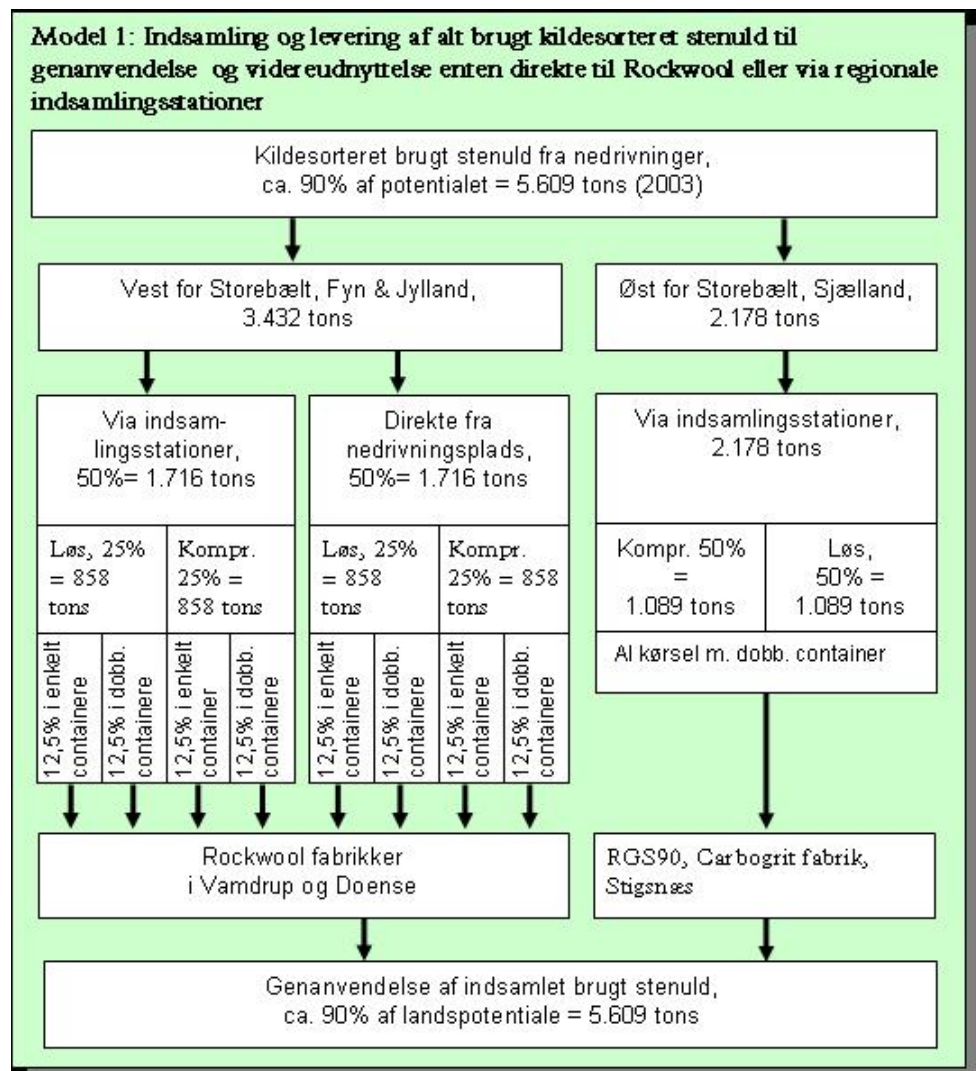


Modellerne vil blive sammenlignet med de miljømæssige og økonomiske konsekvenser der er ved det eksisterende bortskaffelsessystem for stenuld. I det eksisterende system sorteres stenulden i den affaldsfraktion, der går til

deponi. Rockwool har indført et returtagningssystem af afskåret nyt stenuld, men modtager begrænsede mængder. Det eksisterende system vil i det efterfølgende blive benævnt **referencesystemet**. I forprojektet blev der lavet en række antagelser omkring transportafstande for sammenligning mellem referencesystemet og modeller. Disse antagelser gælder ikke i her. Der benyttes fortsat en gennemsnitlig vægtfylde på 125 kg/m³ for brugt stenuld blandet med byggeaffald til beregning af transportafstand.

7.1 Model 1: Levering af alt brugt kildesorteret stenuld til genanvendelse og videreudnyttelse

Model 1 omfatter model for et genanvendelsessystem for brugt stenuld baseret på en geografisk opdeling i Øst og Vestdanmark med to parallelle systemer til slutdisponering. Model 1 med alle antagelser er illustreret i figur 6 nedenfor.



Figur 6. Model 1 for genanvendelse af brugt stenuld. Angivne procentsatser er cirka-tal, da der tages hensyn til, at der altid vil blive kørt med hele containerlæs.

I forprojektet blev det antaget at den samlede transportafstand mellem nedrivningsplads og sorteringsanlæg var sammenlignelig med den samlede

transportafstand fra nedrivningsplads til deponi, og derfor blev denne samlede transportafstand ikke medtaget i sammenligningen mellem modellerne og referencesystemet. Denne antagelse kan ikke bruges i model 1 af flere grunde, dels er transportsystemerne sat anderledes op og dels er stenulden komprimeret i varierende grad. I forprojektet blev der set på indsamling af ukomprimeret stenuld fra kildesortering i bure, mens transport til regionale sorteringsanlæg blev transporteret sammen med andet affald, der medførte en automatisk komprimering af stenulden. I dette hovedprojekt ses der på indsamling og transport i henholdsvis 20m³ komprimeringscontainere og i 30m³ almindelige containere, hvor stenulden bliver let presset. Der anvendes en vægtfylde på 250 kg/m³ for komprimeret stenuld og 90 kg/m³ for let presset stenuld. I referencesystemet antages der en vægtfylde for stenulden på 125 kg/m³, når det er blandet med andet byggeaffald til deponi.

Det skal bemærkes, at transportmængden for de her anførte genanvendelsesmodeller generelt er større end i referencesystemet.

Det antages, at max. 25% af alle containere, uanset type, kører med returlæs efter levering af stenuld, dvs. der medtages ikke returkørsel for 25% af alle containere, da de benyttes til andre vare eller materialer. Procentsatsen varierer under hensyntagen til, at der køres med hele containerlæs.

Afstanden fra nedrivningsplads til Rockwool antages at være den samme som afstanden mellem nedrivningsplads via indsamlingsstation til Rockwool.

Det antages, at der er samme antal indsamlingsstationer spredt udover landet som det antal sorteringsanlæg, der blev anslået i forprojektet, nemlig 39.

På basis af de ovenstående forudsætninger ses de beregnede transportafstande, der samlet bliver tilbagelagt på et år, i Model 1 opsummeret i nedenstående tabel 5. Det skal bemærkes, at der ikke medregnes returkørsel med tomme containere i referencesystemet, ligesom der tilsvarende i genanvendelsesmodellerne ikke medregnes returkørsel med tomme containere fra indsamlingsstationerne, hvor det brugte stenuld blev opsamlet.

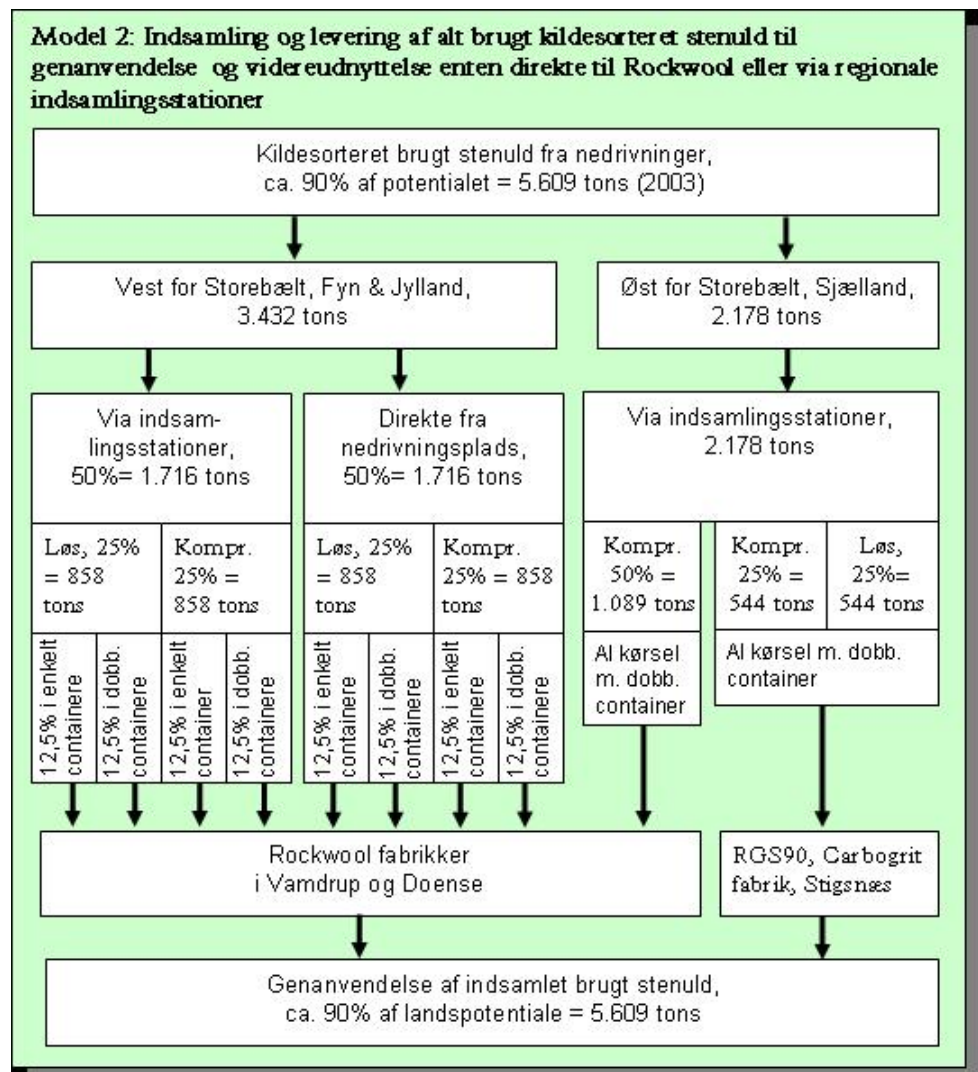
Tabel 5: Transportafstande for model 1. RDK = Rockwool fabrik.

Model 1	Lastbil, enkelt container, fuld	Lastbil, enkelt container, tom	Lastbil, dobbelt container, fuld	Lastbil, dobbelt container, tom
Fra nedrivningsplads til indsamlingsstation (km/år)	6.031	-	3.016	-
Fra nedrivningsplads til RDK (km/år)	18.268	-	9.134	-
Fra indsamlingsstation til RDK (km/år)	18.268	-	9.134	-
Fra indsamlingsstation til RGS90 (km/år)	-	-	32.252	-
Retur fra RDK (km/år)	-	30.605	-	15.302

Retur fra RGS90 (km/år)	-	-	-	32.252
Antal krydsninger af Storebælt	-	-	-	-
Referencesystem (Fra nedrivningsplads til deponi, km/år)	34.462	-	-	-

7.2 Model 2: Levering af brugt kil desorteret stenuld til primært genanvendelse samt videreudnyttelse

Model 2 omhandler model for et genanvendelsessystem for brugt stenuld baseret på en delvis geografisk opdeling samt to systemer til slutdisponering, men med hovedvægten på levering til genanvendelse. Model 2 med alle antagelser er illustreret i figur 7 nedenfor.



Figur 7. Model 2 for genanvendelse af brugt stenuld. Angivne procentsatser er cirkatal, da der tages hensyn til, at der altid vil blive kørt med hele læs.

Som i model 1 antages det, at max. 25% af alle containere, uanset type, kører med returlæs efter levering af stenuld, dvs. der medtages ikke returkørsel for 25% af alle containere, da de benyttes til andre vare eller materialer. Procentsatsen varierer under hensyntagen til, at der køres med hele containerlæs.

Afstanden fra nedrivningsplads til Rockwool antages at være den samme som afstanden mellem nedrivningsplads via indsamlingsstation til Rockwool.

Det antages, at der er samme antal indsamlingsstationer spredt udover landet som det antal sorteringsanlæg, der blev anslået i forprojektet, nemlig 39.

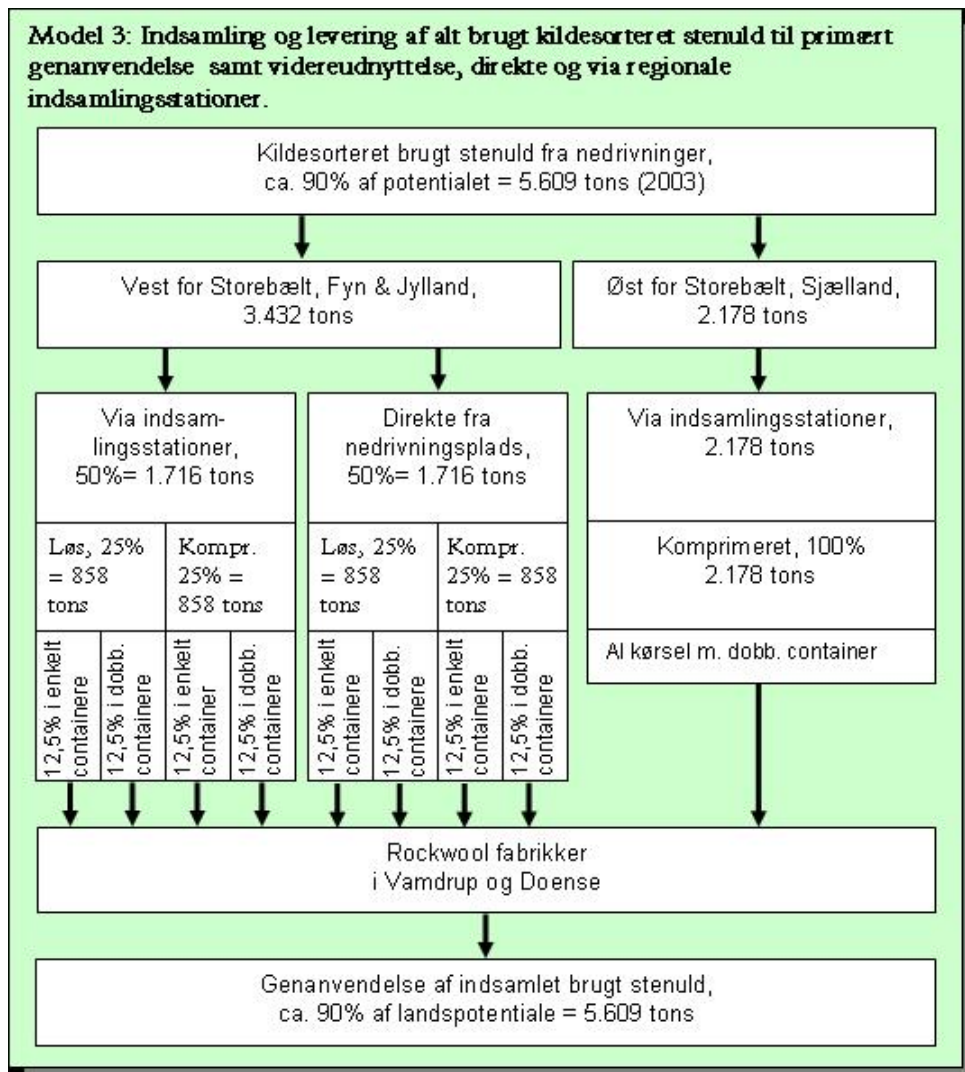
På basis af de forudsætninger listet i figur 7 beregnes transportafstandene, der samlet bliver tilbagelagt på et år i Model 2. Transportafstandene er opsummeret i nedenstående tabel 6. Bemærk at der som for model 1 ikke er medregnet returkørsel med tomme containere i referencesystemet, ligesom der ikke medregnes returkørsel med tomme containere fra indsamlingsstationerne, hvor det brugte stenuld blev opsamlet.

Tabel 6: Transportafstande for model 2. RDK = Rockwool fabrik.

Model 2	Lastbil, enkelt container, fuld	Lastbil, enkelt container, tom	Lastbil, dobbelt container, fuld	Lastbil, dobbelt container, tom
Fra nedrivningsplads til indsamlingsstation (km/år)	6.031	-	3.016	-
Fra nedrivningsplads til RDK (km/år)	18.268	-	9.134	-
Fra indsamlingsstation til RDK (km/år)	18.268	-	34.433	-
Fra indsamlingsstation til RGS90 (km/år)	-	-	16.126	-
Retur fra RDK (km/år)	-	30.605	-	40.602
Retur fra RGS90 (km/år)	-	-	-	16.162
Antal krydsninger af Storebælt	-	-	109	109
Referencesystem (Fra nedrivningsplads til deponi, km/år)	34.462	-	-	-

7.3 Model 3: Levering af al brugt kil desorteret stenuld til genanvendelse

Model 3 omhandler model for et genanvendelsessystem for brugt stenuld baseret på at al brugt stenuld afleveres til de to Rockwool fabrikker i henholdsvis Vamdrup og Øster Doense til genanvendelse i produktionen af nyt stenuld. Model 3 med alle antagelser er illustreret i figur 8 nedenfor.



Figur 8. Model 3 for genanvendelse af brugt stenuld. De angivne procentsatser er cirkatal, da der tages hensyn til, at der altid vil blive kørt med hele læs.

Som i model 1 og 2 antages det, at max. 25% af alle containere, uanset type, kører med returlæs efter levering af stenuld, dvs. der medtages ikke returkørsel for 25% af alle containere, da de benyttes til andre vare eller materialer. Procentsatsen varierer under hensyntagen til, at der køres med hele containerlæs.

Afstanden fra nedrivningsplads til Rockwool antages at være den samme som afstanden mellem nedrivningsplads via indsamlingsstation til Rockwool.

Det antages, at der er samme antal indsamlingsstationer spredt udover landet som det antal sorteringsanlæg, der blev anslået i forprojektet, nemlig 39.

På basis af de forudsætninger listet i figur 8 beregnes transportafstandene, der samlet bliver tilbagelagt på et år i Model 3. Transportafstandene er opsummeret i nedenstående tabel 7. Bemærk at der som for de andre modeller ikke er medregnet returkørsel med tomme containere i referencesystemet, ligesom der ikke medregnes returkørsel med tomme containere fra indsamlingsstationerne, hvor det brugte stenuld blev opsamlet.

På basis af de ovenstående forudsætninger ses de beregnede transportafstande (per år) i Model 3 opsummeret i nedenstående tabel 7.

Tabel 7: Transportafstande for model 3. RDK = Rockwool fabrik.

Model 3	Lastbil, enkelt container, fuld	Lastbil, enkelt container, tom	Lastbil, dobbelt container, fuld	Lastbil, dobbelt container, tom
Fra nedrivningsplads til indsamlingsstation (km/år)	6.031	-	3.016	-
Fra nedrivningsplads til RDK (km/år)	18.268	-	9.134	-
Fra indsamlingsstation til RDK (km/år)	18.268	-	59.733	-
Fra indamlingsstation til RGS90 (km/år)	-	-	-	-
Retur fra RDK (km/år)	-	30.605	-	65.901
Retur fra RGS90 (km/år)	-	-	-	-
Antal krydsninger af storebælt	-	-	218	218
Referensystem (Fra nedrivningsplads til deponi, km/år)	34.462	-	-	-

7.4 Nøgletal til beregning af transportomkostninger

Med henvisning til ovenstående model 1, 2 og 3 samt bilag D kan de opgjorte transportafstande for de enkelte modeller sammenfattes som anført nedfor i tabel 8.

Tabel 8: Transportafstande for genanvendelse af brugt stenuld, model 1- 3.

	Reference-system (km/år)	Model 1 (km/år)	Model 2 (km/år)	Model 3 (km/år)
Lastbil, enkelt container, fuld	34.462	42.567	42.567	42.567
Lastbil, enkelt container, tom		30.605	30.605	30.605
Lastbil, dobbelt container, fuld		53.535	62.709	71.882
Lastbil, dobbelt container, tom		47.554	56.728	65.901
Totalt antal kørte km/år	34.462	174.261	192.608	210.955

Det skal bemærkes, at en forskel mellem vurderingerne og resultaterne beskrevet i denne rapport, og vurderingerne udført i forprojektet er, at det i forprojektet blev antaget, at transporten i referencesystemet var lig transporten fra kilde til indsamlingsstation i de opsatte genanvendelsessystemer. Antagelsen kan ikke gøres i hovedprojektet, da noget

stenuld bliver transporteret direkte fra kilde til Rockwool i de opsatte genanvendelsessystemer. Derfor medtages al transport i beregningerne.

Afviselser og variationer i de angivne modeller vil i praksis forekomme. Det er dog projektgruppens opfattelse, at bredden i de angivne modeller og beregninger i tilstrækkeligt omfang er dækkende for sådanne afviselser.

8 Miljø- og arbejdsmiljøvurderinger

Dette kapitel foretager en vurdering af de miljømæssige konsekvenser af at etablere de forskellige scenarier for genanvendelsessystemer, som beskrevet ovenfor. Der vil blive set på både eksterne miljøforhold og på arbejdsmiljøforhold.

8.1 Externt miljø – screeningsmetode

Miljøberegningerne i forprojektet var baseret på forskellen mellem det eksisterende affaldssystem for stenuld - referencesystemet og den opsatte model. Som tidligere beskrevet er forudsætningerne i hovedprojektet en smule anderledes i forbindelse med medtagne transportafstande (se ovenfor under afsnit 7.4). Resultatet af miljøberegningerne for de mulige genanvendelsessystemer vil derfor her kunne sammenlignes med de beregnede miljøeffekter i referencesystemet.

Der ses på miljøeffekter, der stammer fra transport af stenulden i genanvendelsessystemerne, samt på den mængde stenuld der deponeres ekstra i referencesystemet i forhold til genanvendelsessystemerne. I genanvendelsessystemerne vil der også blive deponeret den mængde stenuld, som ikke sorteres fra på nedrivningspladserne, den mængde brugt stenuld er vurderet til ca. 10% i det øvrige Danmark, samt 100% af det brugte stenuld på Bornholm, da det vil være for omkostningsfuldt at transportere det brugte stenuld til RGS90 eller Rockwool. Derfor er der i referencesystemet kun taget hensyn til den mængde stenuld, der går ekstra til deponi i forhold til genanvendelsessystemerne.

Rockwool vurderer, at de råvarer som returulden erstatter, vil blive brugt af andre industrier, og mest væsentligt at der ikke vil ske en væsentligt ændring i råvareforbruget. Det brugte stenuld vurderes at være maksimalt 5% af råvareforbruget, sandsynligvis lavere afhængig af den aktuelle produktion. Problematikken blev diskuteret i forprojektet. I hovedprojektet ses der således bort fra de miljøberegninger vedrørende råmaterialeforbruget, som blev overvejet og undersøgt i forprojektet.

8.1.1 Effektkategorier

Der er i denne miljøvurdering valgt at medtage følgende effektkategorier:

Miljøpåvirkninger:	<i>Drivhuseffekt</i>
	<i>Forsuring</i>
	<i>Næringsaltbelastning</i>
	<i>Fotokemisk ozondannelse</i>
Affald:	<i>Volumenaffald</i>
Ressourceforbrug:	<i>Råolie</i>
	<i>Stenkul</i>

Der er valgt ikke at medtage miljøpåvirkningerne stratosfærisk ozonnedbrydning og toksicitet. Beregningerne viser, at bidrag til disse kategorier er små, og derfor ikke har væsentlig betydning for resultatet.

Til vurdering af forskellige emissioners bidrag til de enkelte miljøeffektkategorier, multipliceres mængden af emissioner med specifikke miljøeffektfaktorer, således at disse udtrykkes i ækvivalenter, eksempelvis CO₂-ækvivalenter for drivhuseffekt.

8.1.2 Beregningsmetode

I den miljømæssige beregning foretages en screening af miljøeffekterne. Miljøbelastningerne i det eksisterende system (også kaldet referencesystemet) for bortskaffelse af brugt stenuld via deponi samt de tre opsatte genanvendelsesmodeller beregnes og vurderes.

For at kunne sammenligne henholdsvis de enkelte miljøpåvirkninger og ressourceforbrug i de enkelte scenarier bliver al materialeforbrug og alle emissioner opgjort. Herefter beregnes de samlede effektpotentialer for enkelte effektkategorier (eksempelvis bidrag til drivhuseffekt eller næringsstofberigelse), og effektpotentialerne og ressourceforbruget normaliseres og vægtes. Beregning af miljøeffekterne følger den danske UMIP metode [Wenzel, H. et al, 1997].

Ved normalisering relateres alle bidrag og forbrug til bidraget og forbrug for én gennemsnitsperson i ét år, og det giver et billede af de relative størrelser, så de viser om der er tale om store eller små effekter og forbrug i forhold til det gennemsnitlige pr. person.

Ved vægtning tages der hensyn til samfundets syn på alvorligheden af de enkelte miljøpåvirkninger og ressourceforbrug, samt hvor langt samfundet er fra at opfylde nogle erklærede reduktionsmålsætninger for de enkelte effektkategorier.

De normaliserede miljøpåvirkninger og ressourceforbrug præsenteres i personækvivalenter (PE), hvor én PE svarer til mængden af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug for en gennemsnitsperson i ét år. De vægtede resultater præsenteres i henholdsvis personækvivalenter målsat (PEM) og person reserver (PR), hvor der tages hensyn til de politisk målsatte mængder af miljøpåvirkninger pr. person og til mængden af kendte ressource-reserver pr. person.

Normaliserings- og vægtningsfaktorer fra 2003, og GABI-modelleringsystemet benyttes til beregningerne, se bilag E (miljøbilaget).

8.2 Miljøscreening af de enkelte modeller

I nedenstående tabel 9 ses miljøbelastningerne pr. ton stenuld pr. år for de enkelte systemer for henholdsvis deponi og genanvendelse.

Tabel 9: Miljøbelastninger og ressourceforbrug pr. ton stenuld pr. år. Tal markeret med **fed** i tabellen benyttes i de næste tabeller.

Effektkategori	pr. ton stenuld	Reference system	Model 1	Model 2	Model 3
Vægtet Miljø Effekt Personækvivalenter. (PEM):					
Drivhuseffekt potentiale, 100 år	kg CO ₂ -ækv.	3,7	22,6	31,9	32,3
Forsuringspotentiale	kg SO ₂ -ækv.	0,03	0,2	0,2	0,2
Fotokemisk ozondan., potentiale (høj NOx)	kg C ₂ H ₂ -ækv.	0,0002	0,001	0,002	0,002
Fotokemisk ozondan., potentiale (lav NOx)	kg C ₂ H ₂ -ækv.	0,0003	0,001	0,002	0,002
Næringssaltbelastningspotentiale	kg NO ₃ -ækv.	0,05	0,3	0,4	0,4
Normaliseret	mPE	0,8	5,1	7,1	7,2
Vægtet	mPEM	1,1	6,5	9,1	9,2
Affald:					
Volumenaffald	kg	1.000	0,1	0,06	0,07
Normaliseret (affald)	mPE	740,7	0,05	0,04	0,05
Vægtet (affald)	mPEM	814,8	0,1	0,05	0,06
Ressourcer:					
Naturgas	kg	0,1	0,5	0,5	0,5
Råolie	kg	1,1	8,3	9,3	9,4
Stenkul	kg	0,01	0,1	0,1	0,1
Normaliseret (ressourcer)	mPE	2,0	15,7	17,6	17,8
Vægtet (ressourcer)	mPR	0,05	0,3	0,4	0,4

Ikke overraskende ses, at miljøeffekterne og ressourceforbruget for genanvendelsessystemerne er større end i referencesystemet. Det blev også vist i forprojektet. Det skyldes, at der sker en langt større transport af stenuld rundt i landet, her ses også et stort olieforbrug, mens transportafstanden er lille i referencesystemet.

Til gengæld ses det, at affaldsmængden er langt større i referencesystemet, pga. deponeringen af stenulden. 1 ton stenuld deponeret i referencesystemet giver en effekt svarende til 1000 kg i volumenaffaldskategorien, hvilket igen giver meget høje normaliserede og vægtede resultater her. Stenuld er dog meget stabilt affald, dvs. affald, der hovedsageligt er en ulempe at deponere, fordi det optager plads i lossepladserne og, som så vidt muligt ønskes begrænset i omfang. Derfor ses der også relativt lavere miljøeffekter i alle andre kategorier i referencesystemet sammenholdt med de opsatte genanvendelsesmodeller.

Samlet set vil der således være både miljømæssige ulemper og fordele ved genanvendelse af stenulden. Et større forbrug af ikke-fornybare ressourcer og en større forurening af luft og vand, mens der spares på deponi, og dermed bl.a. på inddragelse af landområder. Det er ikke muligt at give et fuldstændigt tal for de miljømæssige effekter, men det kan konkluderes, at for visse effekter

er det en fordel at genanvende, fordi man sparer deponi, til gengæld så bliver der brugt flere energiresourcer til transport ved genanvendelse.

8.2.1 Miljømæssige konsekvenser af de enkelte modeller

I nedenstående tabel 10 er de samlede miljømæssige konsekvenser pr. ton brugt stenuld ved de enkelte modeller samt i referencesystemet vist. Her er de vægtede resultater for henholdsvis miljø og affaldskategorierne lagt sammen for at overskueliggøre resultaterne i tabel 9. Vægtning muliggør denne sammenlægning, da der herved tages højde for alvorligheden af de enkelte påvirkningskategorier.

Tabel 10: Samlede vægtede miljøpåvirkninger og ressourceforbrug pr. ton ved genanvendelse af brugt stenuld. (model 1-3) og deponi af brugt stenuld (referencesystem) for mængder år 2003. Miljøpåvirkningerne består af kategorierne: Drivhuseffekt, næringssaltbelastning, forsuring, fotokemisk ozondannelse samt volumenaffald. Ressourceforbrug består af råolie, stenkul og naturgas.

<i>2003-tal</i>	Reference-system	Model 1	Model 2	Model 3
Vægtede miljøresultater (mPEM/ton)	815,9	6,6	9,2	9,3
Vægtede ressourceforbrug (mPR/ton)	0,05	0,3	0,4	0,4
Besparelse i miljøbelastning ved genanvendelse (mPEM/ton)		-809,4	-806,7	-806,6

Samlet set er det klart mest fordelagtigt at genanvende den brugte stenuld frem for at deponere det uanset hvilken indsamlingsmodel, der anvendes til genanvendelsen. Dette er tydeligt illustreret i nederste række, hvor besparelsen i miljøbelastningerne ved genanvendelse er vist. Ved vurderingen af disse tal skal der rettes opmærksomhed på, at referencesystemets miljøbelastning her sammenlignes med miljøbelastningen fra det stenuld, der går til genanvendelse. I alle genanvendelsessystemer antages, at 90% af stenulden genanvendes, mens 10% fortsat deponeres. Her er det valgt, at sammenligne de reelt genanvendte mængder med en tilsvarende mængde deponeret stenuld. Hvis de 10% stenuld, der deponeres i genanvendelsesmodellerne, blev taget med, ville bidraget til volumenaffald og dermed de vægtede miljøresultater i disse modeller blive relativt større.

De enkelte genanvendelses-modeller adskiller sig derimod ikke væsentligt fra hinanden. Der er kun en lille miljømæssig forskel ved at benytte genanvendelsesmodel 1 frem for de to andre modeller, hvilket skyldes, at det kun er mængden af transport, der adskiller de enkelte modeller.

Resultaterne her viser, at ved en sammenlignende vurdering af miljøbelastningen fra henholdsvis deponi og genanvendelse af brugt stenuld, er der klart en gevinst ved genanvendelse, og det afgørende for dette resultat er besparelsen af affald til deponi. Dette belyser således, at blot fordi affald

deponeres og dermed er visuelt væk, så lægges der fortsat vægt på de miljømæssige belastninger, som deponering medfører.

Derimod ses det, at ressourceforbruget er større ved genanvendelse frem for deponering af det brugte stenuld. Dette skyldes at der bruges mere energi i form af dieselolie til transport af den brugte stenuld til Rockwool og RGS90 end til deponi.

Ovennævnte resultater er opnået ved en miljøscreening, hvor der er foretaget nogle overordnede antagelser, heriblandt at Rockwools indtag af brugt stenuld ikke vil give en betydelig ændring i forbrug af andre råvarer og at det brugte stenuld erstatter en uvæsentlig mængde nye råvarer (<5%). Med de resultater, der er opnået i miljøscreeningen vurderes det, at antagelserne ikke vil kunne ændre ved det overordnede resultatet, nemlig at genanvendelse af brugt stenuld er miljømæssigt at foretrække frem for deponering.

8.2.2 Forslag til nedbringelse af miljøpåvirkning

Miljøpåvirkningerne, der i genanvendelsen stammer fra transporten, er ikke overraskende langt større sammenlignet med reference systemet. En nedbringelse af miljøpåvirkninger vil således med fordel kunne ske ved reduktion af transporten.

Med henvisning til de opgjorte transportafstande i ovenstående kapitel 7 vurderes det umiddelbart, at en reduktion i transportmængden vil kunne opnås ved en øget fokusering på direkte transport fra nedrivningsplads til genanvendelses-anlæggene, Rockwool og RGS90, og dermed en samtidig reduktion i anvendelsen af indsamlingsstationer, herunder omlastning af stenulden.

Det antages, at afstanden fra kilde til Rockwool/RGS90 er cirka den samme som fra indsamlingsstation til Rockwool/RGS90, og hvis der eksempelvis udelukkende sker transport direkte fra kilde til Rockwool/RGS90, kan transporten fra kilde til indsamlingsstation spares. På denne baggrund vurderes det umiddelbart muligt at opnå en transportbesparelse på omkring 9.000 km/år, svarende til op mod 5%, jf. afsnit 7.4.

8.3 Fremtidig udvikling

Med henblik på at vurdere en fremtidig udvikling er der udført fremskrevne miljøberegninger for årene 2006 og 2008 (bilag G – J).

8.3.1 Fremskrevet miljøresultat for år 2006

I de følgende tabeller ses miljøresultaterne som vil blive opnået, hvis der beregnes på de mængder brugt stenuld, som vil blive genereret i år 2006.

Tabel 12. Miljøresultattabel for år 2006. Svarende til et stenuldspotentiale på 8.331 ton/år, indsamlet i alt 7.444 i genanvendelsessystemet. (90% når Bornholm er fratrukket). Resultater givet pr. ton stenuld

Effektkategori	<i>pr. ton stenuld</i>	Reference system	Model 1	Model 2	Model 3
Vægtet Miljø Effekt Personækvivalenter. (PEM):					
Drivhuseffekt potentiale, 100 år	kg CO ₂ -ækv.	3,6	22,3	31,6	33,1
Forsuringspotentiale	kg SO ₂ -ækv.	0,03	0,2	0,2	0,2
Fotokemisk ozondan., potentiale (høj NOx)	kg C ₂ H ₂ -ækv.	0,0002	0,001	0,002	0,002
Fotokemisk ozondan., potentiale (lav NOx)	kg C ₂ H ₂ -ækv.	0,0003	0,001	0,002	0,002
Næringssaltbelastningspotentiale	kg NO ₃ -ækv.	0,05	0,3	0,4	0,4
Normaliseret	mPE	0,8	5,0	7,1	7,4
Vægtet	mPEM	1,0	6,4	9,0	9,4
Affald:					
Volumenaffald	kg	1000	0,1	0,06	0,07
Normaliseret (affald)	mPE	740,7	0,05	0,04	0,05
Vægtet (affald)	mPEM	814,8	0,1	0,05	0,06
Ressourcer:					
Naturgas	kg	0,1	0,5	0,5	0,5
Råolie	kg	1,1	8,2	9,2	9,6
Stenkul	kg	0,01	0,1	0,1	0,1
Normaliseret (ressourcer)	mPE	2,0	15,5	17,4	18,2
Vægtet (ressourcer)	mPR	0,04	0,3	0,4	0,4

Summen af de enkelte effektkategorier til henholdsvis samlede vægtede miljøresultater og samlede vægtede ressourceforbrug, samt differencen mellem modellerne og referencesystemet ses i tabel 13. Som for resultaterne for 2003, ses det at det brugte stenuld som volumenaffald er en meget dominerende effekt.

Tabel 13. Sum og difference tabel for 2006 mellem referencesystem og modeller.

<i>2006-tal</i>	Reference-system	Model 1	Model 2	Model 3
Vægtede miljøresultater (mPEM/ton)	815,9	6,4	9,1	9,5
Vægtede ressourceforbrug (mPR/ton)	0,04	0,1	0,4	0,4
Besparelse i miljøbelastning ved genanvendelse (mPEM/ton)		-809,5	-806,8	-806,4

8.3.2 Fremskrevet miljøresultat for år 2008

I de følgende tabeller ses miljøresultaterne som vil blive opnået, hvis der beregnes på de mængder brugt stenuld, som vil blive genereret i år 2008.

Table 14. Miljøresultattabel for år 2008. Svarende til et stenuldspotentiale på 10098 ton/år, indsamlet i alt 9022 i genanvendelsessystemet. (90% når Bornholm er fratrukket) Resultater givet pr. ton stenuld.

Effektkategori	pr. ton stenuld	Reference system	Model 1	Model 2	Model 3
Vægtet Miljø Effekt Personækvivalenter. (PEM):					
Drivhuseffekt potentiale, 100 år	kg CO ₂ -ækv.	3,6	22,3	31,6	33,0
Forsuringspotentiale	kg SO ₂ -ækv.	0,03	0,2	0,2	0,2
Fotokemisk ozondan., potentiale (høj NOx)	kg C ₂ H ₂ -ækv.	0,0002	0,001	0,002	0,002
Fotokemisk ozondan., potentiale (lav NOx)	kg C ₂ H ₂ -ækv.	0,0003	0,001	0,002	0,002
Nærings saltbelastningspotentiale	kg NO ₃ -ækv.	0,05	0,3	0,4	0,4
Normaliseret	mPE				
Vægtet	mPEM	0,8	5,0	7,1	7,4
		1,0	6,4	9,0	9,4
Affald:					
Volumenaffald	kg	1000	0,1	0,06	0,07
Normaliseret (affald)	mPE	740,7	0,05	0,04	0,05
Vægtet (affald)	mPEM	814,8	0,1	0,05	0,06
Ressourcer:					
Naturgas	kg	0,1	0,5	0,5	0,5
Råolie	kg	1,1	8,2	9,2	9,6
Stenkul	kg	0,01	0,1	0,1	0,1
Normaliseret (ressourcer)	mPE	2,0	15,5	17,4	18,2
Vægtet (ressourcer)	mPR	0,04	0,3	0,4	0,4

Summen af de enkelte effektkategorier til henholdsvis samlede vægtede miljøresultater og samlede vægtede ressourceforbrug, samt differencen mellem modellerne og referencesystemet ses i tabel 15. Som for resultaterne for 2003 og 2006, ses det, at det brugte stenuld som volumenaffald er en meget dominerende effekt.

Table 15. Sum og difference tabel for 2008 mellem referencesystem og modeller.

2008-tal	Reference-system	Model 1	Model 2	Model 3
Vægtede miljøresultater (mPEM/ton)	815,9	6,4	9,1	9,5
Vægtede ressourceforbrug (mPR/ton)	0,04	0,1	0,4	0,4
Besparelse i miljøbelastning ved genanvendelse (mPEM/ton)		-809,5	-806,8	-806,4

At tallene for årene 2006 og 2008 er så ens, skyldes den meget lille forskel der er pr. ton stenuld, uanset om der er 7.444 ton eller 9.022 ton i systemet. Forskellene er at finde i decimalerne, dog uden at dette afspejles i de her afrunde tal.

Sammenfattende for de fremskrevne beregninger ses, at der med øgede mængder af brugt stenuld kun sker et lille fald i miljøomkostningerne. Med udgangspunkt i genanvendelsesmodel 1 ses det er eksempelvis, at de vægtede miljøparametre kun falder med ca. 0,1-0,2 point over en 3-årig periode.

8.4 Arbejds miljø

Ved vurderingen af arbejdsmiljøpåvirkninger i forbindelse med genanvendelse af brugt stenuld er følgende effektkategorier vurderet:

- Arbejdsstillinger og tunge løft
- Ensidigt gentaget arbejdsfunktioner
- Støvpåvirkning
- Risici

8.4.1 Arbejdsstillinger og tunge løft

I de tilfælde, hvor der foretages manuel udtagning af brugt stenuld, kan der forekomme akavede arbejdsstillinger, idet stenulden kan være placeret i mindre loft rum eller i andre snævre eller vanskeligt tilgængelige rum.

Det skønnes dog, at i de fleste af sådanne tilfælde vil man alene af sikkerhedsmæssige grunde vælge af foretage en maskinel nedrivning, efterfulgt af en manuel udtagning af det stenuld, som måtte ligge løst blandt det øvrige affald.

Disse arbejdsbetingelser vil således ikke afvige væsentligt fra de betingelser, der normalt vil være under selektiv nedrivning, bortset fra hvis der forekommer både glasuld og stenuld, så skal disse materialer yderligere separeres.

8.4.2 Ensidigt gentaget arbejdsfunktioner

De gennemførte forsøg på nedrivningspladser har ikke givet anledning til observationer af særlige ensidigt gentagne arbejdsfunktioner ved udtagning af stenuld. Der er således ikke fundet grundlag for at behandle emnet videre i nærværende projekt.

8.4.3 Støvpåvirkning

Nedbrydningsarbejder betegnes generelt som støvende arbejde. De udførende skal således iagttage de gældende anvisninger for personbeskyttelse i forbindelse udførelsen, herunder brug af åndedrætsværn og andre værnemidler.

I forbindelse med gennemførelsen af de her beskrevne forsøg er der ikke registreret observationer, der har givet anledning til yderligere undersøgelser. Under forsøgsudførelsen blev det endvidere konstateret at de involverede

personer alle var korrekt udstyret med reglementeret værnmidler, jf. afsnit 5.3.

Det skal dog her anbefales, at der ved nedrivningsarbejder altid tilstræbes anvendelse af åndedrætsværn efter gældende regler. Der skal i den forbindelse henvises til vejledningerne fra Arbejdstilsynet, herunder vejledningen for nedrivningsarbejder, AT-vejledning D.2.15 af Februar 2005. Vejledningerne kan bl.a. findes på www.arbejdstilsynet.dk.

8.4.4 Nedfaldsrisici

Det er projektgruppens vurdering, at arbejdsprocesser i relation til udtagning og sortering af lette isoleringsmaterialer under nedrivning, ikke adskiller sig fra de sædvanlige arbejdsrisici forbundet med denne type arbejde. Emnet er således ikke videre behandlet i nærværende projekt.

8.4.5 Sammenfattende arbejdsmiljøvurdering

Som også nævnt under beskrivelsen af de gennemførte forsøg ved nedrivningsarbejder vil procedurerne for udsorteringen af brugt stenuld til genanvendelse ikke afvige væsentligt fra de procedurer, som ved de fleste nedrivninger i forvejen praktiseres i dag, nemlig selektiv nedrivning. De arbejdsmiljømæssige problemstillinger vil således generelt ikke forværres ved indsamling af stenuld til genanvendelse.

9 Økonomivurderinger

9.1 Økonomivurderingsmetode

Forudsætningerne tidligere nævnt under de enkelte genanvendelsesmodeller (se kapitel 7) danner basis for økonomivurderingen. Der ses udelukkende på økonomien ud fra et driftsøkonomisk synspunkt, dvs. i økonomi vurderingerne tages der hensyn til følgende tre hovedparametre:

- Transportomkostninger
- Omkostninger ved containere
- Kapitalomkostninger hos Rockwool

Således ses der ikke på samfundsøkonomiske fordele og ulemper, eksempelvis beregnes det ikke, hvad genanvendelse af brugt stenuld vil have af økonomiske fordele i form af sparet kapacitet på losseplads, således at en losseplads kan bruges i 20 år, i stedet for 19,5 år før den er fyldt.

Det skal bemærkes, at de anvendte modeller i hovedprojektet ikke nødvendigvis svarer helt til de modeller, der er blev regnet på i forprojektet. Transporttiderne er således ændrede i flere tilfælde.

I de anvendte modeller ses der, til forskel fra forprojektet, udelukkende på omkostningerne ved kørsel og containerleje/indkøb. Al sortering forudsættes, at ske ved kildesortering jf. kapitel 4, 5 og 7. Med henvisning til afsnittene 5.2, 5.4 - 5.6 forudsættes det samtidigt, at kildesorteringen ikke medfører væsentlige ekstraomkostninger, da dette i stor udstrækning allerede finder sted i dag..

Der er i beregningerne endvidere taget hensyn til, at det ikke nødvendigvis er muligt at køre med helt fyldte containere, når der køres med komprimeringscontainere, hvilket især er relevant i forbindelse med kørsel med to komprimeringscontainere.

9.1.1 Transportomkostninger

I forprojektet blev det antaget, at omkostningerne for transport mellem nedrivningspladser og indsamlingsstationer, blev betalt af byggeherren, og at den var den samme (eller sammenlignelig) med omkostningerne ved at køre isoleringen til deponi. Denne antagelse kan dog ikke gøres for de genanvendelsesmodeller som er sat op i hovedprojektet, da der her er en del af stenulden, der køres direkte til Rockwool. Transportomkostningerne mellem nedrivningspladser og henholdsvis deponi/indsamlingsstationer er derfor medtaget i økonomivurderingen af både referencesystem og genanvendelsesmodeller.

Følgende økonomiske nøgletal er anvendt til beregningerne:

- Afgift for deponi: 810 kr/ton
- 400 kr/time for kørsel med en enkelt container
- 550 kr/time for kørsel med to containere
- 2.000 kr t/r uden **Brobizz** for krydsning af Storebælt med stor dobbelt lastbil

Det antages, at der er samme køretid for kørsel med enkelt og dobbelt container, selv om der er lidt længere af- og pålæsningstid ved to containere. Ved beregning af kørelstider er der brugt forskellige kørselshastigheder afhængig af, hvor lange afstande der køres over, og hvor der køres. Ved en afstand på 20 km i Ringkøbing Amt modelleres der eksempelvis med, at lastbilerne i gennemsnit kører 60 km/t, mens der ved en afstand på 4 km i Københavns Amt modelleres med, at der køres i gennemsnit 45 km/t. Såfremt ikke andet er anført, er der desuden tillagt tid til kørelstiden vedr. på- og aflæsning af containere, samt tom returkørsel. Kørelstiden over lange afstande fra de forskellige anlæg til Rockwoolfabrikkerne baserer sig på Rockwools egne erfaringer (der henvises endvidere til forprojektet). Transportafstandene er estimeret i forbindelse med miljøvurderingerne ovenfor.

Herudover har en række variabler betydning for omkostningerne til transport i de enkelte modeller, bl.a. hvor mange containere der køres med ad gangen, hvilken type containere, der benyttes til indsamling af den brugte stenuld, om der afleveres stenuld direkte hos Rockwool eller om noget køres til RGS90.

I tabel 16 ses de beregnede totale årlige transportomkostningerne pr. ton genanvendt stenuld for de tre modeller samt omkostningerne ved krydsning af Storebælt. Delomkostningerne for de enkelte strækninger i modellerne kan ses i bilag F. De totale transportafstande i de enkelte modeller er beskrevet i afsnit 7.4, herunder basis for transportberegningerne.

Tabel 16: Totale transportomkostningerne pr. ton genanvendt stenuld pr. år for de tre genanvendelsesmodeller (RDK = Rockwool fabrikkerne).

Omkostning	Reference-system (kr/ton/år)	Model 1 (kr/ton/år)	Model 2 (kr/ton/år)	Model 3 (kr/ton/år)
Kørsel fra Øst DK til RDK	-	-	527	527
Kørsel fra Vest DK til RDK	-	379	379	379
Kørsel fra Øst DK til RGS90	-	437	437	-
Krydsning af Storebælt fra Øst DK (t/r)	-	0	200	200
Gennemsnitlig kørsel fra nedrivningsplads til deponi	113	-	-	-

Som det ses i tabel 16 er det ikke overraskende mest omkostningsfuldt at transportere 1 ton stenuld fra Øst Danmark til Rockwool, især i betragtning

af at der også skal lægges en krydsning af Storebælt til den samlede pris. Omkostningen for kørsel pr. ton i de enkelte modeller ses at være ens, dette vil være tilfældet, hvis der køres med samme mængde, samme containertype og samme lastbil på de enkelte strækninger, således vil der eksempelvis altid blive kørt med fyldte komprimeringscontainere i et lastbiltræk med to containere fra Øst Danmark til Rockwool. Derimod vil der for de enkelte modeller være forskel på de mængder stenuld, der leveres til Rockwool og til RGS90 i Stigsnæs.

9.1.2 Omkostninger ved containere

I økonomivurderingen tages der også hensyn til leje/køb af containere til transport af stenulden til genanvendelse, hvor denne omkostning skal afholdes af genanvendelsessystemet.

I referencesystemet føres stenulden til deponi sammen med andet bygningsaffald, og her er det bygherren der afholder omkostningen ved leje af containere. I genanvendelsessystemet vil det ligeledes være byggeherren, der skal betale for lejen af containeren for transport af stenuld fra affaldskilde til indsamlingssystem og fra affaldskilde til transport til Rockwool. Disse omkostninger medregnes derfor ikke i økonomivurderingen.

Derimod skal omkostningerne ved leje/køb af containere, både almindelige containere og komprimeringscontainere, som anført nedenfor i tabel 17, medtages for transporter fra indsamlingsstationer til Rockwools fabrikker og RGS90. Omkostningen for leje af en container er ofte lav, da containeren typisk lejes af firmaet, der også står for transporten.

Tabel 17: Containere priser for leje/køb

Container type:	Leje (kr/dag):	Køb (kr/stk):
Almindelig container (30 m ³)	35	25.000
Komprimeringscontainer (20 m ³)	70	110.000

Begge typer containerne har en levetid på ca. 15 år, hvilket vil give en årlig omkostning for genanvendelsessystemet pr. container på ca. 1667 kr/år for en almindelig container og 7.333 kr/år for en komprimeringscontainer, hvis fx indsamlingsstationerne investerer i deres egne containere. Dette svarer til, at indsamlingsstationerne kan leje en almindelig container ca. 48 gange/år og en komprimeringscontainer 105 gange/år for den samme investering, hvis der ses bort fra prisinflationen.

Set i forhold til de stenuldmængder, der indsamles på de enkelte indsamlingsstationer (se bilag D og E), vurderes det, at indsamlingsstationerne altid vil vælge at leje containerne til stenuldstransporten, da selvinvestering er for dyr set i relation til leje. Med i betragtningen skal også tages, at der vil ske en del kørsel med to containere ad gangen for at holde de dyre transportomkostninger så lave som muligt for genanvendelsessystemet, og det vil derfor næppe være nok blot at have investeret i en enkelt container. Nedenstående eksempel illustrerer klart, at selv-investering er for dyr.

Eksempel

Indsamlingsstationerne i Roskilde Amt er dem, der modtager forholdsvis mest med gennemsnitligt 171 ton/år/indsamlingsstation. Hvis al stenulden transporteres i en komprimeringscontainer, bliver det 34 containerkørsler/år, svarende til, at denne indsamlingsstation skal betale 2.387 kr/år i leje, betragteligt lavere end den årlige investering i en komprimeringscontainer.

Hvis stenuldmængden derimod transporteres i en almindelig container bliver det til ca. 64 kørsler/år, svarende til 2.240 kr/år i leje, ligeledes en højere udgift end en eventuel årlig investering i denne type container. Den samlede selvinvestering i komprimeringscontainere og en almindelig containere med henblik på dobbelt containerkørsel, er selvsagt meget højere end ved leje hos transportører.

Indsamlingsstationerne vil således modtage og opsamle stenulden i et udpeget område på pladsen med henblik på senere afhentning, hvor containeren læsses. Containeren, enten en alm. container eller en komprimeringscontainer lejes således, når der er behov for det. Antallet af containerlejer pr. år følger en fordeling, der beregnes efter genanvendelsesmodellerne, se kapitel 7. Omkostninger til containerleje for de forskellige modeller kan ses i nedenstående tabel 18.

Tabel 18: Omkostninger til containerleje for genanvendelse model 1-3

	Reference-system	Model 1	Model 2	Model 3
Containerleje kr/år	0	52.490	56.019	53.659
Containerleje kr/ton/år	0	9	9	10

Årsagen til den lille forskel i containerleje skyldes forskellen i modeller, hvor der i større eller mindre omfang køres med komprimeringscontainere.

9.1.3 Kapitalomkostninger hos Rockwool

Rockwool har behov for at gennemføre en række investeringer både på deres fabrik i Vamdrup (VAM) og i Øster Doense (DOE) for at kunne modtage en større mængde brugt stenuld, samt optimere behandlingen. Det drejer sig bl.a. om noget maskinel, primært en neddeler, således at fabrikkerne kan modtage mere uhomogent stenuld, både mht. størrelse og renhed. Grundet miljømæssige krav (støv og støj) skal Øster Doense fabrikken også investere i en lukket modtagestation, hvilket kan etableres ved overdækning af en affaldsgård. Dette har fabrikken i Vamdrup allerede. Et overslag fra Rockwool over nødvendige investeringer kan ses i nedenstående tabel 19.

Tabel 19. Nødvendige investeringsomkostninger hos Rockwool for etablering af genanvendelsessystem af brugt stenuld

Investering (i 1.000 kr)	Vamdrup fabrik	Øster Doense fabrik
Neddeler, maskinpris + ny stangmølle VAM	3.900	1.900
Neddeler, indbygning og tilslutning	450	450
Transportsystem	200	200

Magnetseparation	150	150
Kumme til uld/stangmøllemel	200	200
Affaldshus (DOE)	-	1.500
Uforudsete udgifter (maskinel)	100	100
Total	5.000	4.500

For investeringerne anvendes der i beregningerne en lineær afskrivning på 25 år for bygninger og 7 år for maskinel med fuld egenfinansiering.

Kapitalomkostningerne fordeles kun over de brugte stenulds mængder, som reelt modtages på en af Rockwool-fabrikkerne. Der modelleres med, at fabrikken i Øster Doense modtager stenulds mængder fra Nordjyllands Amt, Viborg Amt og Århus Amt samt halvdelen af mængden fra Ringkøbing Amt, mens Vamdrup fabrikken modtager fra resten af landet, hvilket varierer afhængig af genanvendelsesmodel. Den skarpe opsplitning af leveringssteder for amterne er lavet af hensyn til beregningerne. Praksis vil være lidt anderledes, da adskillelsen af hvorhen det bedst kan betale sig transportmæssigt for bygherrerne og indsamlingsstationerne at aflevere den brugte stenuld, ikke er helt så entydig, men det forventes at blive totalt set cirka de samme mængder, der leveres til de enkelte fabrikker. Det resulterer i følgende omkostninger på de to fabrikker:

Tabel 20. Kapitalomkostninger hos Rockwool fordelt over de modtagne mængder brugt stenuld på de to fabrikker

Kapitalomkostninger hos Rockwool	Maskinel kr/år	Bygninger	Model 1 Omk. kr/ton/år	Model 2 Omk. kr/ton/år	Model 3 Omk. kr/ton/år
Vamdrup	627.857	0	366	224	161
Øster Doense	342.143	60.000	234	234	234
Gennemsnit pr år:	970.000	60.000	300	243	184

9.1.4 Interne håndteringsomkostninger hos Rockwool

Rockwool vurderer, at de vil få en ekstra omkostning ved modtagelse og håndtering af brugt stenuld set i forhold til de andre typer råvarer, som de modtager. Ekstraomkostningen er estimeret til 150-175 kr/ton for begge fabrikker, og skal hovedsageligt dække over den ekstra håndtering af brugt stenuld ved modtagelse i form af håndtering, kontrol af renhed, og der skal efter neddeling tages løbende prøver af den fiberkemiske sammensætning af den brugte stenuld til brug i produktionsprocessen, jf. afsnit 5.5.

Til beregningerne i efterfølgende afsnit 9.2 er anvendt en gennemsnitlig håndteringsomkostning hos Rockwool på 160 kr/ton. Det skal bemærkes, at denne omkostning kun er fordelt ud på de stenulds mængder, der modtages hos Rockwool. Med baggrund i, at anvendelsen af brugt stenuld allerede finder sted i dag i referencesystemet i komposteringsprocessen hos RGS90 på Stignæs (se afsnit 5.4.4) er håndteringsomkostningen hos RGS90 sat til kr 0.

9.2 Økonomivurdering af de enkelte modeller

9.2.1 Økonomivurdering i forprojektet

Omkostningerne ved det eksisterende bortskaffelsessystem for stenuld via deponi – referencesystem - blev i forprojektet overslagsmæssigt vurderet til en nettoomkostning på 810 kr/ton brugt stenuld svarende til den gennemsnitlige omkostning for deponering af 1 ton affald. Hertil skal der lægges en transportomkostning på 113 kr/ton. I alt en omkostning i referencesystemet på **923 kr/ton**. Det er denne omkostning, der skal holdes op imod de omkostninger, der beregnes for i de opsatte genanvendelsesmodeller i kapitel 7.

I forprojektet blev der endvidere udført et økonomisk overslag over, hvad det vil koste for Rockwool at kunne modtage stenulden. Dette blev anslået til en kapitalomkostning på i alt 365.800 kr/år for Rockwools to fabrikker svarende til ca. 65 kr/ton/år

9.2.2 Økonomivurdering af Model 1: Indsamling og levering af alt brugt kildesorteret stenuld til genanvendelse og videreudnyttelse enten direkte eller via regionale indsamlingsstationer.

Omkostningerne for genanvendelsesmodel 1 er opgjort i nedenstående tabel 21 og 22.

Tabel 21. Omkostninger for model 1 fordelt på Rockwool.

Model 1	kr/ton/år
Transportomkostninger Vest DK til RDK	379
Krydsning af Storebælt	0
Transportomkostninger Øst DK til RGS90	437
Containerleje	9
Kapitalomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	300
Håndteringsomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	160

Det ses af tabel 21, at omkostningerne hos Rockwool er en stor del af omkostningerne i genanvendelsessystemet. Grunden til, at omkostningerne hos Rockwool er så store skyldes to ting. Rockwool ønsker et modtagesystem, der kan fange en vis mængde urenheder i stenulden. Dette har den fordel, at genanvendelsessystemet ikke er helt så følsomt overfor eventuelle fejlsorteringer, som det ellers ville have været. Desuden er det kun ca. halvdelen af den brugte stenuld der afleveres på Rockwool fabrikkerne i model 1, mens den anden halvdel fra Øst Danmark afleveres til Carbogritproduktionen hos RGS90, og dermed er der ikke så mange ton stenuld at fordele kapital- og håndteringsomkostningerne på. Omkostningerne pr. ton til denne post vil dog falde drastisk med årene, efterhånden som der kommer mere brugt stenuld i genanvendelsessystemet.

I tabel 22 nedenfor er omkostningerne pr. ton brugt stenuld for genanvendelsesmodel 1 præsenteret. Omkostningerne for Vest DK er omkostninger til transport, krydsning af Storebælt, containerleje samt kapital og håndteringsomkostninger på Rockwool, mens omkostningerne for Øst DK

er transport og containerleje. Omkostningerne pr. ton er beregnet under hensyn til at der i model 1 genanvendes 2.178 ton hos RGS90 i Øst DK og 3.432 ton på Rockwool fabrikkerne i Vest DK.

Der ses en væsentlig forskel i omkostninger pr. ton for stenuld leveret til Rockwool og RGS90 som skyldes de ovenfor under afsnit 9.1.1 – 9.1.3 nævnte forskellige forudsætninger.

Tabel 22 Omkostninger pr. ton genanvendt stenuld til de tre modtagesteder i model 1, henholdsvis Rockwool fabrikkerne i Vamdrup og Øster Doense samt RGS90 i Stignæs.

Omkostning	kr/ton/år
Omkostninger for mængder modtaget på Rockwool fra Øst DK	-
Omkostninger for mængder modtaget på Rockwool fra Vest DK	849
Omkostninger for mængder modtaget på RGS90	446
Gennemsnitlig omkostninger:	693

9.2.3 Økonomivurdering af Model 2: Indsamling og levering af alt brugt kildesorteret stenuld primært til genanvendelse samt en mindre del til videreudnyttelse, direkte og via regionale indsamlingsstationer.

Omkostningerne for genanvendelsesmodel 2 er opgjort i nedenstående tabel 23 og 24.

Tabel 23. Omkostninger for model 2 fordelt på Rockwool.

Model 2	kr/ton/år
Transportomkostninger fra Øst DK til RDK	527
Krydsning af Storebælt	200
Transportomkostninger fra Vest DK til RDK	379
Transportomkostninger fra Øst DK til RGS90	437
Containerleje	9
Kapitalomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	243
Håndteringsomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	160

I lighed med model 1 ses, at omkostningerne hos Rockwool er en stor del af omkostningerne i genanvendelsessystemet. Grunden er den samme som for model 1; sikring af kvaliteten af den brugte stenuld som råvare og fordelingen af omkostninger på antal ton leveret hos Rockwool.

I model 2 leveres halvdelen af den brugte stenuld fra Øst Danmark til Rockwool, og dermed vil der ses et fald i omkostningerne pr. ton brugt stenuld hos Rockwool, da der er mere stenuld at fordele kapital- og håndteringsomkostningerne over. Til gengæld vil der ske en stigning i transportomkostningerne, da halvdelen af den brugte stenuld fra Øst Danmark transporteres direkte til Rockwool fabrikken i Vamdrup. Hermed er der en længere transportvej til genanvendelse, og der skal også bruges penge

på krydsning af Storebæltsbroen. En større transportomkostning i model 2 kan ikke undgås, selv om der udelukkende benyttes komprimeringscontainere og kørsel med to ad gangen til transporterne.

I nedenstående tabel 24 er omkostningerne pr. ton brugt stenuld for genanvendelsesmodel 1 præsenteret. Omkostningerne for Vest DK er omkostninger til transport, krydsning af Storebælt, containerleje samt kapital og håndterings-omkostninger på Rockwool, mens omkostningerne for Øst DK er transport og containerleje. Omkostningerne pr. ton er beregnet under hensyn til, at der i model 2 genanvendes 1088 ton hos RGS90 i Øst DK og 4.521 ton på Rockwools fabrikker i Vest DK, hvoraf 1.089 ton kommer fra Øst DK.

Igen ses der en væsentlig forskel i omkostninger pr. ton for stenuld leveret til Rockwool og RGS90.

Tabel 24. Omkostninger pr. ton genanvendt stenuld til de tre modtagesteder i model 2, henholdsvis Rockwool fabrikkerne i Vamdrup og Øster Doense samt RGS90 i Stignæs.

Omkostning	kr/ton/år
Omkostninger for mængder modtaget på Rockwool fra Øst DK	1040
Omkostninger for mængder modtaget på Rockwool fra Vest DK	792
Omkostninger for mængder modtaget på RGS90	447
Gennemsnitlige omkostninger:	792

Der ses en væsentlig forskel i omkostninger pr. ton for stenuld leveret til Rockwool og RGS90 som skyldes de ovenfor under afsnit 9.1.1 – 9.1.3 nævnte forskellige forudsætninger. I model 2 transporteres noget af stenulden over Storebælt, hvilket giver en stor forskel på omkostningerne for det stenuld, der leveres til Rockwool.

9.2.4 Økonomivurdering af Model 3: Indsamling og levering af alt brugt kildesorteret stenuld til genanvendelse hos Rockwool fabrikkerne, direkte og via regionale indsamlingsstationer.

I genanvendelsesmodel 3 transporteres al stenulden fra hele landet direkte til Rockwool. I nedenstående tabel 25 og 26 ses de omkostninger, der vil være forbundet med sådan et genanvendelsessystem.

Tabel 25. Omkostninger pr. ton genanvendt stenuld til Rockwool fabrikkerne i model 3

Model 3	kr/ton/år
Transportomkostninger fra Øst DK til RDK	527
Krydsning af Storebælt	200
Transportomkostninger fra Vest DK til RDK	379
Containerleje	10
Kapitalomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	184

Håndteringsomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	160
---	-----

På grund af den længere transportafstand i forhold til de to andre modeller ses for model 3 en større omkostning til transport og krydsning af Storebælt, mens kapitalomkostningerne hos Rockwool falder.

Tabel 26. Omkostninger pr. ton genanvendt stenuld til de to Rockwool fabrikker i model 3

Omkostning	kr/ton/år
Omkostninger for mængder modtaget på Rockwool fra Øst DK	1080
Omkostninger for mængder modtaget på Rockwool fra Vest DK	732
Omkostninger for mængder modtaget på RGS90	-
Gennemsnitlige omkostninger:	868

9.3 Sammenfattende økonomivurdering

I nedenstående tabel 27 ses de sammenfattede gennemsnitlige omkostninger ved henholdsvis referencesystemet og de tre genanvendelsesmodeller.

Tabel 27. Gennemsnitlige omkostninger ved henholdsvis referencesystemet og de tre genanvendelsesmodeller

	Reference-system kr/ton/år	Model 1 kr/ton/år	Model 2 kr/ton/år	Model 3 kr/ton/år
Gennemsnitlige omkostning	923	693	792	868

Det ses umiddelbart, at model 3 og referencesystemet er de dyreste løsninger og model 1 den billigste. Men det skal også bemærkes, at der for de opsatte genanvendelsessystemer er forudsat, at der ikke er ekstraomkostninger forbundet med kildesortering, samt eventuelle kapitalomkostninger hos RGS90 er nul.

Forskellen mellem de opsatte genanvendelsesmodeller skyldes hovedsageligt to forhold som adskiller dem klart fra hinanden: Transportomkostninger, herunder krydsning af Storebælt, og omkostninger hos Rockwool.

Der ses en forskel mellem model 1, model 2 og model 3 på ca. 100 kr/ton/år. I model 1 afleveres al brugt stenuld fra Øst Danmark til RGS90, mens mængderne fra Vest Danmark afleveres hos Rockwool. I model 2 leveres halvdelen af mængden fra Øst Danmark til Rockwool fabrikkerne. En væsentlig del af den brugte stenuld transporteres dermed over længere afstande, men til gengæld benyttes der til al denne transport over Storebælt komprimeringscontainere, mens dette ikke er tilfældet ved levering til RGS90.

I model 3 er der klart mest transport, og alt stenuld fra Øst Danmark transporteres over Storebælt, hvilket er en væsentlig meromkostning pr. ton genanvendt stenuld.

9.3.1 Forslag til nedbringelse af omkostninger

Det ses af ovenstående, at for at begrænse omkostningerne i et genanvendelsessystem vil det umiddelbart være mest fordelagtigt at anvende genanvendelsesmodel 1, hvor der samlet set er mindst transport og ingen transport over Storebælt.

Omkostningerne i genanvendelsessystemerne kan reduceres, hvis byggeherren og indsamlingsstationerne altid anvender komprimeringscontainere til transport. Stenuldmængderne fra nedrivningspladser og indsamlingsstationer i de kommende mange år er dog af sådan en størrelse, at det her i projektet er valgt at antage, at der nogle gange bruges almindelige containere til transporterne i Jylland og Fyn. Fremtidige mængder kan gøre det mere realistisk, at der altid anvendes komprimeringscontainere.

For at illustrere, hvad betydning brugen af komprimeringscontainere til de lange transporter har for omkostningerne for de enkelt genanvendelsessystemer, er der lavet en usikkerhedsberegning, hvor der er benyttet komprimeringscontainere til alle transporter fra indsamlingsstationer til modtagere af det brugte stenuld. Omkostningerne ses i nedenstående tabel 28.

Tabel 28. Omkostninger for de enkelte modeller, hvor der altid benyttes komprimeringscontainere fra indsamlingsstation til modtager.

kr/ton/år	Reference-system	Model 1	Model 2	Model 3
Transportomkostninger i referencesystem	923	0	0	0
Transport omkostninger til Rockwool fra Øst DK ²	0	-	527	527
Transport omkostninger til Rockwool fra Vest DK		353	338	328
Transport omkostninger til RGS90	0	321	321	-
Omkostninger for mængder modtaget på Rockwool fra Øst DK	0	-	1040	1080
Omkostninger for mængder modtaget på Rockwool fra Vest DK		823	750	691
Omkostninger for mængder modtaget på RGS90	0	330	330	-
Gennemsnitlige omkostninger:	923	631	744	842

Det ses, at de gennemsnitlige omkostninger pr. ton stenuld reduceres for de enkelte genanvendelsesmodeller, fordi transport-omkostningerne falder, og at det derfor vil være en fordel at benytte komprimeringscontainere til al transport fra indsamlingsstation til modtager af det brugte stenuld, hvis mængderne tillader det.

Ved et fremtidigt genanvendelsessystem for brugt stenuld må det forventes, at der på indsamlingsstationer og modtageanlæg for bygge- og anlægsaffald, og hos modtagere som f.eks. Rockwool, ligeledes vil kunne blive opkrævet et

² I de oprindelige genanvendelsesmodeller køres her allerede med komprimeringscontainere i alle kørsler, derfor ses der ikke nogle besparelser her.

beløb for modtagelse af rent kildesorteret stenuld til dækning af udgifter til genanvendelsessystemet.

9.4 Fremtidig udvikling

Med henblik på at vurdere en fremtidig udvikling er der udført fremskrevne økonomiberegninger for årene 2006 og 2008 (bilag G – J).

Sammenfattende for de fremskrevne beregninger ses, at der med øgede mængder af brugt stenuld sker et lille fald i omkostningerne.

Med udgangspunkt i genanvendelsesmodel 1 ses det eksempelvis, at den gennemsnitlige omkostning i år 2003 ville være kr. 693 per ton årligt (se 9.2.2), faldende til kr. 642 per ton årligt i 2006 (se bilag H) og kr. 618 per ton årligt i 2008 (se bilag J).

Kapitalomkostningerne hos Rockwool vil med en stigende mængde forventeligt falde betydeligt da de årlige omkostninger her ligger fast. Omkostninger er for Rockwool i 2003 opgjort til kr 300 per ton årligt (se 9.2.2). Med henvisning til bilag H og J er de samme omkostninger opgjort for årene 2006 og 2008 til henholdsvis kr 226 per ton årligt og kr 187 per ton årligt

10 Samlet vurdering og anbefalinger

10.1 Sammenfattende vurdering

Med henvisning til rapportens indledning i kapitel 4 og forsøgsplanlægning beskrevet i kapitel 5, kan der sammenfattes følgende vurderinger.

10.1.1 Forsøg med kildesortering og rensning af brugt stenuld

På baggrund af de gennemførte interviews med nøgleoperatører (se 5.4) og de gennemførte forsøg i forbindelse med nedrivningsprojekter (se 5.3) må det vurderes, at der er gode muligheder for udsortering af brugt stenuld ved kildesortering, og at dette ikke vil kræve væsentlig ekstra tid. Samtidigt kan det konstateres, at kildesorteringen er så god, at der ikke er behov for efterfølgende yderligere sortering.

10.1.2 Gennemførelse af praktiske forsøg med anvendelse af sorteret brugt stenuld i produktionen af nye stenuldsprodukter.

Som ovenfor nævnt er kvaliteten af den udsorterede stenuld tilfredsstillende. Samtidigt har produktionsforsøgene på Rockwools fabrik i Vamdrup vist, at der på grund af den gamle stenulds fiberkemiske sammensætning (se 5.5) er behov for løbende kontrol og analyser, samt en stram styring af produktionsprocessen.

Endvidere har forsøgene hos Rockwool påvist et behov for eventuelle fremtidige investeringer i forbindelse med etablering af et permanent genanvendelsessystem. Sådanne investeringer vurderes, at ville medføre lempede krav til renheden af den brugte stenuld som modtages hos Rockwool (se 6.5.3).

Det er i forbindelse med hovedprojektet blevet vurderet, at der med hensyn til mængder og størrelser af udsorteret stenuld til genanvendelse, kan forventes et potentiale på 90% af den samlede estimerede årlige mængde som fremstilles ved nedrivning og reoveringer, svarende til 5.609 tons i 2003 (se 5.6.1 og 4.2.1), som også er den mængde, der er anvendt ved de miljø- og økonomimæssige beregninger i projektet.

10.1.3 Vurdering af de bedst mulige indsamlings-, transport- og håndteringsmetoder for det indsamlede brugte stenuld

På grundlag af de gennemførte forsøg og de i kapitel 7 opstillede mulige modeller for genanvendelsessystem for stenuld må det, ud fra de miljømæssige, arbejdsmiljømæssige og økonomiske konsekvenser (se 8 og 9), vurderes at det bedst mulige indsamlings-, transport- og håndteringsmetode for det indsamlede brugte stenuld opnås ved anvendelse af genanvendelsesmodel 1.

Med henblik på at vurdere en fremtidig udvikling er der udført fremskrevne beregninger for årene 2006 og 2008 (bilag G – J).

Af de fremskrevne beregninger ses, at der med øgede mængder af brugt stenuld sker et mindre fald i transportomkostningerne og et lille fald i miljøomkostningerne. Et samtidigt forventeligt fald i omkostningerne hos Rockwool, skyldes hovedsageligt at deres omkostninger per år er faste.

Det er en forudsætning for at opnå de økonomiske og miljømæssige fordele ved et genanvendelsessystem, at der sikres en tilstrækkelig tilført mængde og kvalitet af det materiale, som leveres til Rockwool med henblik på genanvendelse.

10.2 anbefalinger

På grundlag af de her gennemførte forsøg og de foreslåede genanvendelsesmodeller med tilhørende miljø- og økonomimæssige vurderinger, anbefales det at etablere et genanvendelsessystem for let mineraluldsisolering, baseret på det i ovenstående model 1 anbefalede genanvendelsessystem, herunder fastlæggelse af nødvendige mængder og transport af mineraluld

Model 1 omfatter et genanvendelsessystem for brugt stenuld baseret på en geografisk opdeling samt to parallelle systemer (tostrengt) til slutdisponering, herunder indsamling og levering af brugt kildesorteret stenuld til genanvendelse (Rockwool) og videreudnyttelse (Carbogrit/blæsemiddel) enten direkte eller via regionale indsamlingsstationer.

Det anbefales derfor, at der tages indledende skridt til en dialog og en nærmere drøftelse med relevante parter og interessenter i et sådant genanvendelsessystem, med henblik på en nærmere konkretisering af rammerne for et sådant system.

10.2.1 Lovkrav vedrørende transport og oparbejdning af brugt stenuld
Det vurderes, at der ikke umiddelbart vil være behov for udformning af yderligere lovkrav til transport og oparbejdning af brugt stenuld til genanvendelse.

Derimod vil der være behov for en ændring af praksis, så stenuld som affald går til genanvendelse i stedet for til deponi. Der vil således være et behov for erkendelse af at let mineraluldsisolering er et egnet materiale til genanvendelse. Dette vil formentlig samtidigt kræve en ændring af den typiske vejledning og anbefalinger fra kommunerne omkring affaldshåndteringen, herunder regulativanvisningerne omkring affald til deponering og genanvendelse.

Det anbefales, at der indledningsvis foretages en screening af den nuværende lovgivning af relevans for bygge- og anlægsaffald og genanvendelse heraf, samt det i praksis generelt anvendte regelsæt for slutdisponering af mineraluld.

Det anbefales i den forbindelse at udrede eventuelle spørgsmål omkring genanvendelse af stenuld for henholdsvis; 1) stenuld anvendt i ny produktion af mineraluld hos Rockwool og, 2) videreudnyttelsen af stenuld til fremstilling af blæsemiddel hos RGS90.

Herudover anbefales det at vurdere behovet for en gennemførelse af en oplysningskampagne omkring genanvendelse af mineraluld, målrettet mod det forskellige interessentgrupper og relevante myndighedsorganer. I den forbindelse bør behovet for bl.a. oplysninger omkring sortering og adskillelse af stenuld og glasuld vurderes.

10.2.2 Rockwool fabrikernes krav til modtagelse af brugt stenuld
Rockwool fabrikernes krav til stenuld, som modtages til genanvendelse, vil til dels afhænge af omfanget af nyinvesteringer til håndtering af styring af stenuld i produktionsprocessen. Såfremt Rockwool foretager de i afsnit 6.5.3 foreslåede investeringer, anbefales det, at det som minimumskrav fastsættes, at stenulden skal være kildesorteret og, at indholdet af fremmedstoffer/urenheder ikke oversiger 5% af vægtmængden.

Det anbefales ligeledes, at det udredes, hvilke minimumsmængder tilført brugt stenuld som er nødvendige for opretholdelse af et rentabelt genanvendelsessystem samt hvorvidt opkrævning af et modtagegebyr vil være formålstjenstligt.

10.2.3 Nedriverfirmaernes krav til levering af brugt stenuld
Et eventuelt krav om kildesortering vurderes ikke at skabe behov for særlige tiltag indenfor nedbrydningsbranchen. Brancheaftalen NMK96 (se 5.4) vurderes at give et tilstrækkeligt grundlag for en permanent indførelse af krav om kildesortering af stenuld til genanvendelse.

Samtidigt vurderes det, at et økonomisk incitament for nedbrydningsbranchen vil ligge i de mindskede omkostninger til bortskaffelse af mineraluld, såfremt slutdisponeringen ændres fra den nuværende deponering til genanvendelse.

Med henblik på etablering af et fremtidigt genanvendelsessystem for brugt stenuld, anbefales det derfor, at der indledningsvis udarbejdes en rammeplan og strategi for igangsætning af drøftelser med relevante interessenter samt igangsættelse af nødvendige udredninger jf. ovenstående anbefalinger.

11 Referencer

Affaldsstatistik 2000: Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 14, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Boligministeriet: Bygningsreglementet 1961, 1966, 1972, 1977, 1982 og 1995, samt Bygningsreglement for Småhuse 1985 og 1998

By- og Boligministeriet (1998): Projekt Renovering – Analyse af renoveringsmarkedet i Danmark 1990-2008, Projekt nr. 299, By- og Boligministeriet.

Christensen, T.H. (1998): Affaldsteknologi, 1. udgave. Ingeniøren | bøger, København

Danmarks Statistik, 2001: Statistisk Tiårsoversigt 2001, Danmarks Statistik.

Danmarks Statistik, 2002: Bygningsstatistik fra www.ds.dk

Danmarks Statistik: Telefonsamtale med Erik Nielsen,

Ludvigsen, Karsten (2002): Personlig samtale med Karsten Ludvigsen, Miljøchef hos RGS90

Miljøstyrelsen, 1990a: Prognose for bygge- og anlægsaffald – hovedrapport (PROBA). Miljøprojekt nr. 150, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Miljøstyrelsen, 1991: Demonstrationsprojekt "Selektiv nedrivning". Miljøprojekt nr. 177, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Miljøstyrelsen, 1991: Renere teknologi – Bygge- og anlægsaffald. Miljøprojekt nr. 180, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Miljøstyrelsen, 1993: Byggeriets materialeforbrug. Miljøprojekt nr. 221, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Miljøstyrelsen, 2002: Etablering af praktisk anvendelige procedurer for accept af affald på deponeringsanlæg, Fase 1, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Miljøstyrelsen, 2002: Udtræk fra ISAG-systemet

Miljøstyrelsens Erhvervsaffaldskontor: Telefonsamtale med Lone Kielberg

Miljøstyrelsens ISAG-sekretariat: Telefonsamtale med Berit Hallam

Nedenskov, Jonas (2002): Personlig samtale med Jonas Nedenskov, Miljøchef hos AV Miljø

Ren Viden 5/2002. Artikel af Tom Elmer Christensen, Affaldsteknisk Samarbejde i Ren Viden, Videncenter for Affald, 2002

Strandorff, H.K., Hoffmann, L., Schmidt, A. (2002): Normalisation and weighting – Updating of selected impact categories (Draft-version). DK-Teknik og Miljø.

Videncenter for Affald, 2002: www.affaldsinfo.dk

Wenzel, H, Hauschild, M. Z. og Alting, L. (1997): Environmental Assessment of Products, Vol. 1: Methodology, tools and casestudies in product development. Chapman & Hall, London.

Affaldsstrategi 2005-2008, Regeringen 2003.

J. Jensen Nedrivning A/S, Interview med Dennis Voldstedlund og Jens Jensen.

Brandis A/S Nedbrydning, Interview med Jan Brandis.

Kingo Karlsen A/S, Interview og gennemførelse af forsøg med Richard Kristensen.

Nedbrydningsbranchens Miljøkontrolordning 1996, NMK 96, Brancheaftale om selektiv nedbrydning m.v., Miljø- og Energiministeren og Entreprenørforeningens Nedbrydningssektion, November 1996.

V&S Byggedata: V&S PrisDatabase Renovering & Drift 2005.

V&S Byggedata: V&S PrisDatabase Anlæg 2005.

A/S Storebælt: www.storebaelt.dk/www-storebaelt-dk/Privat/Priser/, 2005.

RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. beantragt, das Gütezeichen „Erzeugnisse aus Mineralwolle“, RAL-Gütezeichen RIF 41001, GGM Gütegemeinschaft Mineralwolle e.V., Frankfurt am Main, info@mineralwolle.de | www.mineralwolle.de

Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), ”Miljødata for udvalgte bygningsdele”, SBI-Rapport 296, SBI 199

Bilag A

Spørgeskema til interview

Spørgeramme til interview af nedrivningsentreprenører

”Forundersøgelser til genanvendelse af brugt stenuld”

Rockwool er med assistance fra Rambøll i gang med at undersøge mulighederne for at genanvende brugt bygningsisolering fra nedrivning og reovering. Undersøgelserne drejer sig udelukkende om bygningsisolering fra Rockwool og ikke andre typer isolering.

Der planlægges en række sorteringsforsøg på typiske nedrivnings/reoveringspladser, for at undersøge, hvor godt Rockwoolen kan sorteres direkte på nedrivningspladsen. Den nuværende situation på nedrivningspladsen uden udsortering af stenuld skal sammenlignes med en situation, hvor stenulden udsorteres, så det kan genanvendes på en af Rockwools fabrikker. Der vil blive set på en mulig organisering af arbejdet med at frasortere på nedrivningspladsen, hvilket tidsforbrug frasortering kræver, samt hvordan det påvirker arbejdsmiljøet.

Til en indledende kortlægning vil vi derfor bede jer om at svare på en række spørgsmål:

Vedr. arbejdsrutiner

1. Er der forskel på de nuværende arbejdsrutinerne ved nedtagning af isolering fra forskellige bygningstyper (Etageejendomme, enfamiliehuse, kontorbyggeri, industri)? Hvis Ja –beskriv hvordan?

2. Er der arbejdsrutiner, som kan besværliggøre frasortering af bygningsisolering?

3. Hvad vurderer du, at det vil det kræve for at indføre frasortering af Rockwool på nedrivningspladsen?

4. Er det realistisk at adskille Rockwool og Glasuld ved sortering?

5. Anslået tidsforbrug til udsortering? (Svar venligt på de to muligheder: Hvis det nemmeste skal udsorteres og hvis størstedelen skal udsorteres)

Vedr. arbejdsmiljø

6. Vil det betyde en væsentlig forringelse af arbejdsmiljøet for bygningsarbejderne, hvis de skal udsortere Rockwoolen?

Vedr. kvalitet og mængder

7. Hvilke materialer vil Rockwoolen typisk være blandet sammen med, som det er nu?
Organisk materiale (inkl træ) ____ Maling ____ Asfalt ____ Plast ____ Papir ____ Mursten ____
Beton ____ Metaldele ____ Andre materialer
8. Er Rockwoolen ofte blandet med asbest? _____
9. Efter udsortering – hvilke urenheder vurderer du, at der vil være i Rockwoolen?
Organisk materiale (inkl. træ) ____ Maling ____ Asfalt ____ Plast ____ Papir ____
Mursten ____ Beton ____ Metaldele ____ Andre materialer
10. Vil det være vanskeligt at sortere Rockwoolen ud, så der ikke er større mængder urenheder, som brokker, metal osv. i? (Støv i Rockwoolen er OK)
-
11. Hvor stor en procentdel af Rockwoolen, der tages ud af bygningen mener du, at det vil være realistisk at udsortere?
-
12. Hvilke størrelser vurderer du, at det udsorterede Rockwoolen vil have?
Ofte hele batts _____ Smådele _____ Blandet _____
13. Giv et bud på den typiske volumenprocent af isolering i den samlede mængde byggeaffald fra henholdsvis nedrivnings- og renoeringspladser.
-
14. Giv et bud på den typiske volumenprocent af isolering i den container, der nu bruges til at samle affaldet med isolering fra henholdsvis nedrivnings- og renoeringspladser.
-

Bilag B

Kravs-specifikation for genanvendelse af brugt stenuld på Rockwool fabrik

Genanvendelse af brugt stenuld. VAMDRUP kravspecifikation

FVP kravspecifikation til retur/brugt stenuld, Nuværende situation og Forsøgskørsler

1. Granuleret. Maksimum størrelse 100 x 200 x 70 mm.
2. Jo mere ulden er findelt jo bedre. Idealtilstanden er stangmølleformalet uld 500 kg/ m³.
3. Forsøgsstørrelse på brugt stenuld max 500 x 500 mm, dette afhængig af tykkelsen alt over 100 mm er der ingen begrænsning for størrelsen.
4. Maksimalt indhold, fremmedstoffer (alt andet end oprindeligt produkt, organisk materiale generelt ,maling, opløsningsmidler, asfalt, plast, papir, mm) 0,5 – 1,0 %.
5. Der må ikke forefindes beton, mursten og metalgenstande i ulden.
6. Maksimal mængde pr. døgn. 5 tons
5 døgn pr. uge. 48 uger pr. år. I alt. 1.200 tons (teoretisk max).
7. Forsøgsmængde min. 1 ton og max 5 ton leveret i container.
8. Ulden skal leveres pr. bil således at den kan tippes af i affaldshallen.
9. Der skal ringes dagen i forvejen om forventet ankomsttidspunkt.
10. Aflæsning kan kun foregå i tidsrummet mellem 07.00 og 13.00 på hverdage.
11. Der kan forekomme dage hvor egen spildmængde er så stor at det ikke er muligt at modtage retur uld.

Nicolai Skov

Bilag C

Resultat af forsøg med brug af brugt stenuld i produktion af ny.

Toleranceværdier ved produktion af stenuld.

Standarden hedder RAL og den klasse Rockwool anvender kaldes RIF.

Enheden er %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO+MgO	Na ₂ O+K ₂ O
40,3 - 43,0*	17,5 - 20,3	0,6 - 2,6	5,4 - 8,4	23,7 - 27,7	1,3 - 4,3

Du kan læse mere om dette på nettet, f.eks. på:

http://www.mineralwolle.de/1_ral/6_mitglieder.htm

Vedlagt resultat af fiberkemisk analyse ved forsøg med brugt stenuld.

ROCKWOOL INTERNATIONAL A/S
Research & Development

Kemisk analyse, hovedkomponenter, X-ray (X30 / UQ)

Prøvenummer	Udtagn.dato	Linie	Bemærkninger	SiO ₂		Al ₂ O ₃		TiO ₂		Fe ₂ O ₃		CaO		MgO		Na ₂ O		K ₂ O		P ₂ O ₅		MnO		Glødetab		Sum,		Fugt				
				glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	glt. korr.	w/w %	
RV050039-00	12-01-2005	VAM	Briket	32,3	16,8	1,2	1,2	9,9	18,9	6,8	1,0	0,7	0,4	0,4	11,3	11,3	<99,4	<99,4	12,5	12,5												
RV050040-00	12-01-2005	VAM	Nuværende briket	35,5	19,6	1,1	1,1	10,2	26	6,2	0,7	1,3	0,2	0,2	10,3	10,3	<99,3	<99,3	12	12												
		VAM	Nuværende affald	41,1	17,7	1,5	1,5	7,3	17,4	8,2	1,6	1,0	0,1	0,1	3,3	3,3	<99,3	<99,3	8,2	8,2												
		VAM	Nuværende affald	43,0	18,3	1,7	1,7	7,7	17,8	8,3	1,8	1,0	0,3	0,3	<0,1	<0,1																

Konklusion: Som man kan se ud af kemien er der afvigelse i forhold til vores normal briket og affald. Dette betyder at hvis dette projekt bliver til noget skal vi lave en værktøj til styring af det affald der kommer ind.

Bilag D

Opgørelse af transportafstande

BILAG D1 - Model 1 - Transportberegninger

MODEL 1: Transport af brugt stenuid fra Vest til Rockwool fabrikker, al uld fra Øst til RGS90

Beregningsforudsætninger

	Amternes areal (km ²)	Antal indsamlingsst. pr. amt	Gns. km ² pr. indsamlingst.	Gns. afstand fra byggeplads til indsamlingsst. (km)	Gns. afstand fra RDK (km)	Gns. afstand fra indsamlingsst. til RGS90 (km)	Kørsel, på- og aflæsning af alm. cont. byggeplads - indsamlingst. (timer)	Andel af stenuidspot. i amt (ton, 2003)	Antal 20m3 komp. cont. til stenuid (0,25 t/m ³)	Antal alm. 30m3 cont. til stenuid (0,09 t/m ³)	Tømminger pr anlæg pr år
København Amt	623	7	89	3,55	245	115	0,4	847	169	314	24
Frederiksborg Amt	1.347	3	449	7,97	270	145	0,5	506	101	187	34
Roskilde Amt	891	2	446	7,94	215	85	0,5	341	68	126	34
Vestsjællands Amt	2.984	3	995	11,86	160	50	0,6	262	52	97	17
Storstrøms Amt	3.398	3	1.133	12,66	210	60	0,6	222	44	82	15
Fyns Amt	3.486	2	1.743	15,71	105	80	0,6	510	102	189	51
Sønderjyllands Amt	3.939	2	1.970	17	65	210	0,6	284	57	105	28
Vejle Amt	2.997	3	999	12	45	150	0,6	277	55	103	18
Ribe Amt	4.854	2	2.427	19	60	250	0,7	464	93	172	46
Ringkøbing Amt	3.132	2	1.566	15	95	200	0,6	358	72	133	36
Århus Amt	4.561	3	1.520	15	75	215	0,6	721	144	267	48
Viborg Amt	4.122	2	2.061	17	65	240	0,6	273	55	101	27
Nordjyllands Amt	6.173	4	1.543	15	70	330	0,6	544	109	201	27
Total		38						5609			

Transportafstande

	Afstand fra byggeplads til deponi (referencsystem)	Total afstand - byggeplads til indsamlingsst. Enkelt cont.	Total afstand - byggeplads til indsamlingsst. Dobbel cont.	Total afstand - indsamlingsst til RDK, Enkelt cont.	Total afstand - indsamlingsst til RDK, dobbelt cont.	Total afstand - byggeplads til RDK, Enkelt cont.	Total afstand - byggeplads til RDK, Enkelt cont.	Total afstand - Byggeplads til RDK, Dobbel cont.	Total afstand - indsamlingst. til RGS90, Dobbel cont.	Total afstand - Retur fra RDK, Dobbel cont.	Total afstand - Retur fra RGS90, Dobbel cont.
København Amt	1.503	429	214	0	0	0	0	13.889	0	0	13.889
Frederiksborg Amt	2.017	288	288	0	0	0	0	10.462	0	0	10.462
Roskilde Amt	1.354	386	193	0	0	0	0	4.133	0	0	4.133
Vestsjællands Amt	1.554	443	222	0	0	0	0	1.868	0	0	1.868
Storstrøms Amt	1.405	401	200	0	0	0	0	1.899	0	0	1.899
Fyns Amt	4.005	571	286	3.818	1.909	3.818	1.909	0	6.386	3.198	0
Sønderjyllands Amt	2.371	338	169	1.316	658	1.316	658	0	2.205	1.102	0
Vejle Amt	1.647	235	117	889	444	889	444	0	1.489	744	0
Ribe Amt	4.300	613	307	1.985	992	1.985	992	0	3.325	1.663	0
Ringkøbing Amt	2.665	380	190	2.425	1.212	2.425	1.212	0	4.062	2.031	0
Århus Amt	5.288	754	377	3.855	1.928	3.855	1.928	0	6.459	3.229	0
Viborg Amt	2.332	332	166	1.265	633	1.265	633	0	2.120	1.060	0
Nordjyllands Amt	4.020	573	287	2.715	1.357	2.715	1.357	0	4.548	2.274	0
Total	34.462	6.021	3.016	18.268	9.134	18.268	9.134	32.252	30.605	15.302	32.252

Transport i alt

Referencsystem	34.462
Total kersel enkelt bil Fuld	42.567
Total kersel dobbelt bil Fuld	53.535
Total reuturkersel enkelt bil tom	30.605
Total reuturkersel dobbelt bil tom	47.554
I alt for Model 1	174.261

BILAG D2 - Model 2 - Transportberegninger

Model 2: Vest al uld til Rockwool fabrikker, Øst 50% til RWDK, 50% til RGS90

Beregningsforudsætninger

	Anternes areal (km ²)	Antal indsamlingsst.	Gns. km ² pr. indsamlingsst.	Gns. afstand fra byggeplads til indsamlingsst. (km)	Gns. afstand fra indsamlingsst. til Rockwool (km)	Gns. afstand fra omlastestation til RGS90 (km)	Kørsel, på- og aflysning af alm. cont. byggeplads - indsamlst. (timer)	Andel af stenuidspotentiale i amt (ton, 2003)	Antal 20 m3 komp cont. til stenuid (0,25 U/m3)	Antal alm. 30m3 cont. til stenuid (0,09 ton/m3)	Tømminger pr anlæg pr år
København Amt	623	7	89	4	245	115	0,4	847	169	314	24
Frederiksborg Amt	1.347	3	449	8	270	145	0,5	506	101	187	34
Roskilde Amt	891	2	446	8	315	85	0,5	341	68	126	34
Vestsjællands Amt	2.864	3	955	12	160	80	0,6	262	52	97	17
Storstrøms Amt	3.398	3	1.133	13	210	44	0,6	222	44	82	15
Fyns Amt	3.486	2	1.743	16	105	80	0,6	510	102	189	51
Sjælland Amt	3.839	2	1.970	17	65	210	0,6	284	57	105	28
Vejle Amt	2.997	3	999	12	45	150	0,6	277	55	103	18
Ribe Amt	4.854	2	2.427	19	60	250	0,7	464	93	172	46
Ringkøbing Amt	3.132	2	1.566	15	95	200	0,6	358	72	133	36
Århus Amt	4.561	3	1.520	15	75	215	0,6	144	144	267	48
Viborg Amt	4.122	3	2.061	17	65	240	0,6	273	55	101	27
Nordjyllands Amt	6.173	4	1.543	15	70	330	0,6	544	109	201	27
Total		38						5699			

Transportafstande

	Total afstand fra deponi (referencsystem)	Total afstand - byggeplads til indsamlingsst. Enkelt cont.	Total afstand - byggeplads til indsamlingsst. Dobbelt cont.	Total afstand - indsamlingsst til RDK. Enkelt cont.	Total afstand - indsamlingsst til RDK. Dobbelt cont.	Total afstand - byggeplads til RDK. Enkelt cont.	Total afstand - byggeplads til RDK. Dobbelt cont.	Total afstand - indsamlingsst. til RGS Dobbelt cont.	Total afstand - Retur fra RDK. Enkelt cont.	Total afstand - Retur fra RDK. Dobbelt cont.	Total afstand - Retur fra RGS90. Dobbelt cont.	Antal krydsninger/rt ar Storbævt retur pr. ar
København Amt	1.503	429	214	0	10.376	0	0	6.945	0	10.376	6.945	42
Frederiksborg Amt	2.017	575	288	0	6.831	0	0	5.231	0	6.831	5.231	25
Roskilde Amt	1.354	386	193	0	3.666	0	0	2.067	0	3.666	2.067	17
Vestsjællands Amt	1.554	443	222	0	2.096	0	0	934	0	2.096	934	13
Storstrøms Amt	1.405	401	200	0	2.331	0	0	950	0	2.331	950	11
Fyns Amt	4.005	571	286	3.818	1.909	3.818	1.909	0	6.396	3.198	0	0
Sjælland Amt	2.371	338	169	1.316	658	1.316	658	0	2.205	1.102	0	0
Vejle Amt	1.647	235	117	889	444	1.488	744	0	1.489	1.663	0	0
Ribe Amt	4.300	613	307	1.985	992	1.985	992	0	3.325	1.663	0	0
Ringkøbing Amt	2.665	380	190	2.425	1.212	2.425	1.212	0	4.062	2.031	0	0
Århus Amt	5.288	754	377	3.855	1.928	3.855	1.928	0	6.459	3.229	0	0
Viborg Amt	2.332	332	166	1.265	633	1.265	633	0	2.120	1.060	0	0
Nordjyllands Amt	4.020	573	287	2.715	1.357	2.715	1.357	0	4.548	2.274	0	0
Total	34.462	6.031	3.016	18.268	34.433	18.268	9.134	16.126	30.605	40.602	16.126	109

Transport i alt

Referencsystem	34.462
Total kørsel enkelt bil Fuld	42.567
Total kørsel dobbelt bil Fuld	62.709
Total returløst enkelt bil tom	30.605
Total returløst dobbelt bil tom	56.728
I alt for model 2	192.608

BILAG D3_Model 3 - Transportberegninger

Model 3: Transport af al brugt stenuid til Rockwool fabrikker

Beregningsforudsætninger

	Amternes areal (km ²)	Antal indsamlingsst.	Gns. km ² pr. indsamlingsst.	Gns. afstand fra byggeplads til indsamlingsst. (km)	Gns. afstand fra indsamlingsst. til Rockwool (km)	Kørsel, på- og aflæsning af alm. cont. byggeplads - indsamlst. (timer)	Andel af stenuidspotentiale i amt (ton, 2003)	Antal 20 m3 komp. Cont. til stenuid (0,25 t/m3)	Antal alm. 30m3 cont. til stenuid (0,09 ton/m3)	Tømminger pr anlæg pr år
København's Amt	623	7	89	4	245	0,4	847	169	314	24
Frederiksborg Amt	1.347	3	449	8	270	0,5	506	101	187	34
Roskilde Amt	891	2	446	215	341	0,5	341	68	126	34
Vestsjællands Amt	2.984	3	995	12	160	0,6	262	52	97	17
Storstrøms Amt	3.398	3	1.133	210	222	0,6	222	44	82	15
Fyns Amt	3.486	2	1.743	16	105	0,6	510	102	189	51
Sønderjyllands Amt	3.939	2	1.970	17	65	0,6	264	57	105	28
Vejle Amt	2.987	3	999	12	45	0,6	277	55	103	18
Ribe Amt	4.854	2	2.427	19	60	0,7	464	93	172	46
Ringkøbing Amt	3.132	2	1.566	15	95	0,6	358	72	133	36
Århus Amt	4.561	3	1.520	15	75	0,6	721	144	267	48
Viborg Amt	4.122	2	2.061	17	65	0,6	273	55	101	27
Nordjyllands Amt	6.173	4	1.543	15	70	0,6	544	109	201	27
Total		38					5609			

Transportafstande

	Total afstand fra byggeplads til depot	Total afstand - byggeplads til indsamlingsst. Enkelt cont.	Total afstand - indsamlingsst. til indsamlingsst. Enkelt cont.	Total afstand - indsamlingsst. til RDK. Enkelt cont.	Total afstand - Byggeplads til RDK. Enkelt cont.	Total afstand - Byggeplads til RDK. Enkelt cont.	Total afstand - Byggeplads til RDK. Enkelt cont.	Transport-afstand - Retur til RDK. Enkelt bil	Transport-afstand - Retur til RDK. Enkelt bil	Antal Krydsninger/rt af Storebælt retur pr. år
København's Amt	1.503	429	214	0	20.752	0	0	0	20.752	85
Frederiksborg Amt	2.017	575	288	0	13.662	0	0	0	13.662	51
Roskilde Amt	1.354	386	193	0	7.332	0	0	0	7.332	34
Vestsjællands Amt	1.554	443	222	0	4.192	0	0	0	4.192	26
Storstrøms Amt	1.405	401	200	0	4.662	0	0	0	4.662	22
Fyns Amt	4.005	571	286	3.818	1.909	3.818	1.909	6.396	3.198	
Sønderjyllands Amt	2.371	338	169	1.316	658	1.316	658	2.205	1.102	
Vejle Amt	1.647	235	117	889	444	889	444	1.489	744	
Ribe Amt	4.300	613	307	1.985	992	1.985	992	3.325	1.663	
Ringkøbing Amt	2.665	380	190	2.423	1.212	2.423	1.212	4.062	2.031	
Århus Amt	5.288	754	377	3.855	1.928	3.855	1.928	6.459	3.229	
Viborg Amt	2.332	332	166	1.265	633	1.265	633	2.120	1.060	
Nordjyllands Amt	4.020	573	287	2.715	1.357	2.715	1.357	4.548	2.274	
Total	34.462	6.031	3.016	18.268	59.733	18.268	9.134	30.605	65.901	218

Transport i alt

Referencesystem	34.462
Total kørsel enkelt bil Fuld	42.567
Total kørsel dobbelt bil Fuld	71.882
Total returskørsel enkelt bil tom	30.605
Total returskørsel dobbelt bil tom	65.901
I alt for Model 3	210.955

Bilag E

Miljøberegninger

	Referencsystem	Lastbil m enkelt container - fuld	Lastbil m. enkelt container - tom	Lastbil m dobbelt container - fuld	Lastbil m dobbelt container - tom	Total belastning pr ton brugt stenuid
MODEL 1						
Vægt Miljø Eff. Pot. (PEM)	6,1	7,6	5,5	9,5	8,5	31,1
Drivhus effekt potentiale, 100 år	kg CO ₂ -ækv. 3,7	kg CO ₂ -ækv. 6,1	kg CO ₂ -ækv. 3,7	kg CO ₂ -ækv. 7,7	kg CO ₂ -ækv. 5,2	22,6
Forsurningspotentiale	0,003	4,4E-02	2,8E-02	5,6E-02	3,9E-02	0,2
Fotkemisk ozondannelse, potentiale (høj NOx)	kg C ₂ H ₄ -ækv. 0,0002	kg C ₂ H ₄ -ækv. 3,1E-04	2,1E-04	3,5E-04	2,7E-04	0,001
Fotkemisk ozondannelse, potentiale (lav NOx)	kg C ₂ H ₄ -ækv. 0,0003	kg C ₂ H ₄ -ækv. 3,9E-04	2,7E-04	4,4E-04	3,4E-04	0,001
Næringsstofferbelastningspotentiale	kg NO ₃ -ækv. 0,05	kg NO ₃ -ækv. 7,7E-02	4,8E-02	1,0E-01	6,9E-02	0,3
Normaliseret Vægt	mPEM 0,8	1,3E+00	8,3E-01	1,7E+00	1,2E+00	5,1
	mPEM 1,1	1,7E+00	1,1E+00	2,2E+00	1,5E+00	6,5
Volumenaffald	kg 1000	1,4E-02	7,4E-03	2,7E-02	1,6E-02	0,1
Normaliseret (affald)	mPE 740,7	1,0E-02	5,5E-03	2,0E-02	1,2E-02	0,05
Vægt (affald)	mPEM 814,8	1,1E-02	6,0E-03	2,2E-02	1,3E-02	0,1
Naturgas	kg 0,1	9,8E-02	5,3E-02	1,9E-01	1,1E-01	0,5
Råolie	kg 1,1	1,8E+00	9,8E-01	3,5E+00	2,1E+00	8,3
Stenkul	kg 0,01	2,3E-02	1,2E-02	4,4E-02	2,6E-02	0,1
Normaliseret (ressourcer)	mPE 2,0	3,4E+00	1,8E+00	6,0E+00	3,9E+00	15,7
Vægt (ressourcer)	mPR 0,05	7,4E-02	4,0E-02	1,5E-01	8,7E-02	0,3

	Lastbil m enkelt container fuld	Lastbil m. enkelt container - tom	Lastbil m dobbelt container - fuld	Lastbil m dobbelt container - tom	Total belastning pr ton brugt stenuid
MODEL 2					
Vægt Miljø Eff. Pot. (PEM)	7,6	5,5	11,2	10,1	34,3
Drivhus effekt potentiale, 100 år	kg CO ₂ -ækv. 6,1	kg CO ₂ -ækv. 3,3	kg CO ₂ -ækv. 14,1	kg CO ₂ -ækv. 8,5	31,9
Forsurningspotentiale	4,4E-02	2,4E-02	1,0E-01	6,4E-02	0,2
Fotkemisk ozondannelse, potentiale (høj NOx)	kg C ₂ H ₄ -ækv. 3,1E-04	kg C ₂ H ₄ -ækv. 1,9E-04	6,3E-04	4,4E-04	0,002
Fotkemisk ozondannelse, potentiale (lav NOx)	kg C ₂ H ₄ -ækv. 3,9E-04	kg C ₂ H ₄ -ækv. 2,4E-04	8,0E-04	5,7E-04	0,002
Næringsstofferbelastningspotentiale	kg NO ₃ -ækv. 7,7E-02	kg NO ₃ -ækv. 4,3E-02	1,8E-01	1,1E-01	0,4
Normaliseret Vægt	mPE 1,3E+00	7,4E-01	3,1E+00	1,9E+00	7,1
	mPEM 1,7E+00	9,4E-01	4,0E+00	2,5E+00	9,1
Volumenaffald	kg 1,4E-02	7,4E-03	2,1E-02	1,4E-02	0,06
Normaliseret (affald)	mPE 1,0E-02	5,5E-03	1,6E-02	1,1E-02	0,04
Vægt (affald)	mPEM 1,1E-02	6,0E-03	1,7E-02	1,2E-02	0,05
Naturgas	kg 9,8E-02	5,3E-02	2,9E-01	1,4E-01	0,5
Råolie	kg 1,8E+00	9,6E-01	4,1E+00	2,5E+00	8,3
Stenkul	kg 2,3E-02	1,2E-02	3,2E-02	2,6E-02	0,1
Normaliseret (ressourcer)	mPE 3,4E+00	1,8E+00	7,7E+00	4,7E+00	17,8
Vægt (ressourcer)	mPR 7,4E-02	4,0E-02	1,7E-01	1,0E-01	0,4

MODEL 3	Antal km/ton/år	Lastbil m enkelt container fuld	Lastbil m. enkelt container - tom	Lastbil m dobbelt container - fuld	Lastbil m dobbelt container - tom	Total belastning pr ton brugt stenuid
Vægt/Miljø Eff.Pot.(PEM)	7,6	5,5	12,8	8,1	34	
Drivhus effekt potentiale, 100 år	6,1	3,3	16,1	6,9	32,3	
Forsuringspotentiale	4,4E-02	2,4E-02	1,2E-01	5,1E-02	0,2	
Fotokernisk ozondannelse, potentiale (høj NOx)	3,1E-04	1,9E-04	7,2E-04	3,6E-04	0,002	
Fotokernisk ozondannelse, potentiale (lav NOx)	3,9E-04	2,4E-04	9,2E-04	4,5E-04	0,002	
Næringssaltbelastningspotentiale	7,7E-02	4,3E-02	2,1E-01	9,0E-02	0,4	
Normaliseret Vægtet	1,3E+00 1,7E+00	7,4E-01 9,4E-01	3,6E+00 4,6E+00	1,5E+00 2,0E+00	7,2 9,2	
Volumenafald	1,4E-02	7,4E-03	3,6E-02	1,5E-02	0,07	
Normaliseret (afald)	1,0E-02	5,5E-03	2,7E-02	1,1E-02	0,05	
Vægtet (afald)	1,1E-02	6,0E-03	2,9E-02	1,2E-02	0,06	
Naturgas	9,8E-02	5,3E-02	2,6E-01	1,1E-01	0,5	
Råolie	1,8E+00	9,1E-01	4,7E+00	2,0E+00	9,4	
Stenkul	2,3E-02	1,2E-02	6,0E-02	2,5E-02	0,1	
Normaliseret (ressourcer)	3,4E+00	1,8E+00	8,9E+00	3,8E+00	17,8	
Vægtet (ressourcer)	7,4E-02	4,0E-02	2,0E-01	8,3E-02	0,4	

Faktorer	Normaliseringsfaktorer	Vægtingsfaktorer
Drivhus effekt potentiale, 100 år, UMIP	8700 kg CO ₂ -ækv.	1,3
Forsuringspotentiale (AP), UMIP	124 kg SO ₂ -ækv.	1,3
Fotokernisk ozondannelse, potentiale (høj NOx), UMIP	20 kg C ₂ H ₂ -ækv.	1,2
Fotokernisk ozondannelse, potentiale (lav NOx), UMIP	20 kg C ₂ H ₂ -ækv.	1,2
Næringssaltbelastningspotentiale UMIP	298 kg NO ₃ -ækv.	1,2
Volumenafald	1350 kg	1,1
Natur gas	310 kg	0,016
Råolie	590 kg	0,023
Stenkul	570 kg	0,0058

Total miljøbelastning ved de forskellige modeller	Vægtede miljøresultater (mPEM/ton)	Vægtede ressourceforbrug (mPR/ton)	Forskel i miljøbelastning mellem Referencesystem og Model (mPEM/ton)
Model 1: Transport af al brugt stenuid fra Vest til Rockwool fabrikker, al uid fra Øst til RGS90	6,5	0,3	-809,4
Model 2: Vest al uid til Rockwool fabrikker, Øst 50% til RW,DK, 50% til RGS90	9,2	0,4	-806,7
Model 3: Transport af al brugt stenuid til Rockwool fabrikker	9,3	0,4	-806,6
Referencesystem	815,9	0,05	

Bilag F

Omkostningsopgørelser

BILAG F.1. Model 1 - Økonomiberegninger
MODEL 1: Transport af al brugt stenuld fra Vest til Rockwool fabrikker, al uld fra øst til RGS90

	Referencesystem			Byggeplads til indsamlingsstation			Indsamlingsstation til RDK inkl. alt Returkørsel fra Rockwool				
	Gns.køre og aflæsningstid	Kørsel antal gange m. altn cont. pr. år	Tid i alt (timer)	Gns. køre og aflæsningstid	Kørsel antal gange m. enkelt cont. pr. år	Tid i alt (timer)	Gns.køre og aflæsningstid	Kørsel antal gange m. enkelt cont. pr. år	Tid i alt (timer)	Kørsel antal gange m. dobbelt cont. pr. år	Tid i alt (timer)
København Amt	0.4	424	175	0.4	121	60	25	4.5	0	0	0
Frederiksberg Amt	0.5	253	129	0.5	37	36	18	5.0	0	0	0
Roskilde Amt	0.5	171	87	0.5	25	24	12	4.0	0	0	0
Vestsjællands Amt	0.6	131	75	0.6	21	19	11	3.5	0	0	0
Storstrøms Amt	0.6	111	65	0.6	32	16	9	4.0	0	0	0
Fyns Amt	0.6	265	158	0.6	36	18	11	2.5	97	243	49
Sønderjyllands Amt	0.6	142	90	0.6	20	10	6	1.5	54	81	27
Vejle Amt	0.6	139	79	0.6	20	10	6	1.0	53	63	26
Ribe Amt	0.7	232	158	0.7	33	17	11	1.5	89	133	44
Ringkøbing Amt	0.8	179	108	0.8	26	13	8	2.5	88	171	34
Århus Amt	0.8	361	218	0.8	51	26	15	2.0	138	275	69
Viborg Amt	0.8	137	88	0.8	19	10	6	1.5	52	78	26
Nordjyllands Amt	0.8	272	164	0.8	39	19	12	2.5	104	259	52
Total			1588			302			151		647
Transportomkostninger total			635794			120919			83132		517327
Omkostninger til RGS			60518			41606			41606		0
Omkostninger til RDK			635794			60400			41525		517327
Omkostninger i Referencesystem											

	Kilde til Rockwool			Indsamlingst. til RGS90 inkl. Returkørsel			Total tid kørt		
	Gns.køre og aflæsningstid	Kørsel antal gange m. enkelt cont. pr. år	Tid i alt (timer)	Gns. køre og aflæsningstid	Kørsel antal gange m. dobbelt cont. pr. år	Tid i alt (timer)	Total tid kørt enkelt cont. (timer)	Total tid kørt dobbelt cont. (timer)	
København Amt	4.5	0	0	0	3	242	725	50	750
Frederiksberg Amt	5.0	0	0	0	3.5	144	505	37	523
Roskilde Amt	4.0	0	0	0	1.5	97	146	25	158
Vestsjællands Amt	3.5	0	0	0	1.1	75	75	21	85
Storstrøms Amt	4.0	0	0	0	1.5	63	95	19	104
Fyns Amt	2.5	36	91	4.5	18	357	357	178	178
Sønderjyllands Amt	1.5	20	30	1.5	10	125	125	62	62
Vejle Amt	1.0	20	20	1.0	10	84	84	42	42
Ribe Amt	1.5	33	50	1.7	25	205	205	102	102
Ringkøbing Amt	2.5	26	64	3.2	13	250	250	125	125
Århus Amt	2.0	51	103	5.1	26	408	408	204	204
Viborg Amt	1.5	19	28	1.5	10	120	120	60	60
Nordjyllands Amt	2.5	38	97	4.8	19	360	360	180	180
Total			483			242	1545	2079	2585
Transportomkostninger total			193370			132942	849902	1421637	
Transportomkost. til RGS90			193370			132942	849902	1421637	
Transportomkost. til RDK									

Transportomkostninger pr. ton brugt stenuld		kr/ton/år
Transportomkostning til RDK		379
Krydsning af Storebælt		0
Transportomkostning til RGS		437
Transportomkostning i Referencesystem		113
Total for transport til RDK		379
Total for transport til RGS90		437
Transportomkostning i Referencesystem		113

Beregningsforudsætninger	
Antal krydsninger af Storebælt	0
Priser for kørsel	400
Kørsel m. enkelt cont.	550
Kørsel m. dobbelt cont.	2000
Krydsning af Storebælt m. stor lastbil retur	

Leje af containere			
	Antal komp. cont. (20m ³)	Antal alm. cont. (30 m ³)	Leje af containere kr/ton
Københavns Amt	85	157	11419
Frederiksborg Amt	51	94	6822
Roskilde Amt	34	63	4597
Vestsjællands Amt	26	49	3532
Storstrøms Amt	22	41	2993
Fyns Amt	26	47	3438
Sønderjyllands Amt	14	26	1914
Vejle Amt	14	26	1867
Ribe Amt	23	43	3128
Ringkøbing Amt	18	33	2413
Århus Amt	36	67	4660
Viborg Amt	14	25	1840
Nordjyllands Amt	27	50	3667
Total	389	721	52490

Alm. Cont. leje kr/dag	35
Komp. cont leje kr/dag	70

Kapitalomkostninger hos Rockwool

	Maskinel kr/år	Bygninger	Omkostning kr/tonår
Vamdrup	627857	0	366
Øster Doense	342143	60000	234
Total	970000	60000	300

Interne håndteringsomkost. hos RDK	160
kr/år/ton stensild tilført Rockwool	

Totale omkostninger for model 1

Omkost. for mængder modtaget på RDK	kr/tonår
Omkost. for mængder modtaget på RGS90	849
Gns. Omkostning	446 (uden kapital + interne omkostninger)
Gns. Omkostning	693

Total omkostning referencesystem

Omkostninger for mængder til deponi	kr/tonår
Omkostninger for mængder til deponi	923

BILAG F2 - Model 2 - Økonomiberegninger

Model 2: Vest al udl til Rockwool fabrikker, Øst 50% til RWDK, 50% til RGS90

Transportomkostninger										
	Byggeplads til Indsamlingsstation					Indsamlingsstation til RDK inkl. alt Returkørsel fra Rockwool				
	Gns. Køre og aflæsningsstid	Kørsel antal gange m. enkelt container pr. år	Tid i alt (timer)	Kørsel antal gange m. dobbelt container pr. år	Tid i alt (timer)	Gns. Køre og aflæsningsstid	Kørsel antal gange m. enkelt container pr. år	Tid i alt enkelt (timer)	Kørsel antal gange m. dobbelt container pr. år	Tid i alt dobb. Cont. (timer)
København Amt	0.4	121	50	60	25	4.5	0	0	85	381
Frederiksberg Amt	0.5	72	37	36	18	5.0	0	0	51	252
Roskilde Amt	0.5	49	25	24	12	4.0	0	0	34	136
Vestsjællands Amt	0.6	37	21	19	11	3.5	0	0	28	92
Storstrøms Amt	0.6	32	19	16	9	4.0	0	0	22	89
Fyns Amt	0.6	36	23	18	11	2.5	97	243	49	122
Senderjylland Amt	0.6	20	13	10	6	1.5	54	81	27	41
Vejle Amt	0.6	20	10	10	6	1.0	53	26	26	26
Ribe Amt	0.7	33	22	17	11	1.5	89	133	44	66
Ringkøbing Amt	0.6	26	15	13	8	2.5	68	171	34	85
Århus Amt	0.6	51	31	26	15	2.0	138	275	69	138
Viborg Amt	0.6	19	13	10	6	1.5	52	78	26	39
Nordjyllands Amt	0.6	39	23	19	12	2.5	104	253	52	130
Total			302		151			1293		1598
Omkostninger total			120919		83132			517327		878740
Transportomkost. til RGS			30259		20803					
Transportomkost. fra Øst DK til RDK			30259		20903					529078
Transportomkost. fra Vest DK til RDK			60400		41529			517327		355662
Byggeplads til Rockwool										
	Gns. Køre og aflæsningsstid	Kørsel antal gange m. enkelt container pr. år	Tid i alt enkelt (timer)	Kørsel antal gange m. dobbelt container pr. år	Tid i alt dobb. Cont. (timer)	Gns. Køre og aflæsningsstid	Kørsel antal gange m. dobbelt container pr. år	Total tid kørt dobb (timer)	Total tid kørt enkelt cont. (timer)	Total tid kørt dobbelt cont. (timer)
København Amt	4.5	0	0	0	0	3	121	362	50	768
Frederiksberg Amt	5.0	0	0	0	0	3.5	72	253	37	524
Roskilde Amt	4.0	0	0	0	0	1.5	49	73	25	222
Vestsjællands Amt	3.5	0	0	0	0	1	37	37	21	140
Storstrøms Amt	4.0	0	0	0	0	1.5	32	47	19	146
Fyns Amt	2.5	36	91	18	45				357	178
Senderjylland Amt	1.5	20	30	15	20				125	62
Vejle Amt	1.0	20	10	10	10				84	42
Ribe Amt	1.5	33	50	17	25				205	102
Ringkøbing Amt	2.5	26	64	13	32				250	125
Århus Amt	2.0	51	103	26	51				409	204
Viborg Amt	1.5	19	29	10	15				120	60
Nordjyllands Amt	2.5	39	97	19	48				380	190
Total			483		242			773	2079	2763
Omkostninger total			193370		132942			424951	831616	1519764
Transportomkost. til RGS								424951		
Transportomkost. fra Øst DK til RDK			193370		132942					
Transportomkost. fra Vest DK til RDK										
Beregningsforudsætninger										
Antal krydsninger af Storebælt r/t										
Priser for kørsel										
Kørsel m. enkelt cont.										
Kørsel m. dobbelt cont.										
Krydsning af storebælt m. stor læsebil retur										
			109							527
			400							200
			550							379
			2000							437

Leje af containere

	Antal komp. cont. (20m ³)	Antal alm. cont. (30 m ³)	Leje af containere	Leje af containere kr/ton
Københavns Amt	127	78	11638	14
Frederiksborg Amt	76	47	6953	14
Roskilde Amt	51	32	4686	14
Vestsjællands Amt	39	24	3600	14
Storstrøms Amt	33	21	3050	14
Fyns Amt	26	17	3438	7
Sønderjyllands Amt	14	26	1914	7
Vejle Amt	14	26	1867	7
Ribe Amt	23	43	3128	7
Ringkøbing Amt	18	33	2413	7
Århus Amt	36	67	4860	7
Viborg Amt	14	25	1840	7
Nordjyllands Amt	27	50	3667	7
Total	498	519	53055	9

Alm. cont. leje kr/dag	35
------------------------	----

Komp. cont leje kr/dag	70
------------------------	----

Kapitalomkostninger hos Rockwool

	Maskinel	Bygninger	Omkostning kr/ton/år
Vamdrup	627857	0	224
Øster Doense	342143	60000	234
Total	970000	60000	243

Interne håndteringsomkost. hos Rockwool kr/år/ton stensuld tilført Rockwool	160
--	-----

Totale omkostninger for Model 2

	kr/ton/år
Omkost. for mængder modtaget på RDK fra Øst Dk	1140
Omkost. for mængder modtaget på RDK fra Vest Dk	792
Omkost. for mængder modtaget på RGS90	447
Genemsnitlig omkostning	792

(uden kapital + int

BILAG F3, Model 3 - Økonomberegninger

Model 3: Transport af al brugt stenuid til Rockwool fabrikker

Transportomkostninger

	Byggeplads til Indsamlingsstation				Indsamlingsstation til RDK inkl. ait Returkørsel fra Rockwool					
	Gns. Køre og aflæsningsstid	Kørsel antal gange m. enkelt container pr. år	Tid i alt (timer)	Kørsel antal gange m. dobbelt container pr. år	Tid i alt (timer)	Gns. Køre og aflæsningsstid	Kørsel antal gange m. enkelt container pr. år	Tid i alt enkelt (timer)	Kørsel antal gange m. dobbelt container pr. år	Tid i alt dobb. Cont. (timer)
København Amt	0.4	121	50	60.4	25	4.5	0	0.0	169	762
Frederiksborg Amt	0.5	72	37	36.1	18	5.0	0	0.0	101	506
Roskilde Amt	0.5	49	25	24.3	12	4.0	0	0.0	68	273
Vestsjællands Amt	0.6	37	21	18.7	11	3.5	0	0.0	52	183
Storstrøms Amt	0.6	32	19	15.8	9	4.0	0	0.0	44	178
Fyns Amt	0.6	36	23	18.2	11	2.5	97	243.2	49	122
Sønderjyllands Amt	0.6	20	13	10.1	6	1.5	54	81.3	27	41
Vejle Amt	0.6	20	11	9.9	6	1.0	53	52.8	26	26
Ribe Amt	0.7	33	22	16.5	11	1.5	89	132.8	44	66
Ringkøbing Amt	0.6	26	15	12.8	8	2.5	68	170.7	34	85
Århus Amt	0.6	51	31	25.7	15	2.0	138	275.0	69	138
Viborg Amt	0.6	19	13	9.7	6	1.5	52	78.1	26	39
Nordjyllands Amt	0.6	39	23	19.4	12	2.5	104	259.4	52	130
Total			302		151			1293		2549
Omkostninger total			120919		83132			517327		1401817
Transportomkost. fra ØstDK til RDK			60518		41606			1046155		355662
Transportomkost. fra Vest DK til RDK			60400		41525					

	Byggeplads til Rockwool				Indsamlingsstation til RDK inkl. ait Returkørsel fra Rockwool				
	Gns. Køre og aflæsningsstid	Kørsel antal gange m. enkelt container pr. år	Tid i alt enkelt (timer)	Kørsel antal gange m. dobbelt container pr. år	Tid i alt dobb. Cont. (timer)	Total tid kørt enkelt (timer)	Total tid kørt dobbelt (timer)	Total tid kørt enkelt (timer)	Total tid kørt dobbelt (timer)
København Amt	4.5	0	0	0	0	50	787	50	787
Frederiksborg Amt	5.0	0	0	0	0	37	524	37	524
Roskilde Amt	4.0	0	0	0	0	25	285	25	285
Vestsjællands Amt	3.5	0	0	0	0	21	194	21	194
Storstrøms Amt	4.0	0	0	0	0	19	187	19	187
Fyns Amt	2.5	36	91	18	45	357	173	357	173
Sønderjyllands Amt	1.5	20	30	10	15	84	62	84	62
Vejle Amt	1.0	20	10	10	10	84	42	84	42
Ribe Amt	1.5	33	50	17	25	205	102	205	102
Ringkøbing Amt	2.5	26	64	13	32	250	125	250	125
Århus Amt	2.0	51	103	26	409	409	204	409	204
Viborg Amt	1.5	19	29	10	15	120	60	120	60
Nordjyllands Amt	2.5	39	97	19	380	380	190	380	190
Total			483		242	831616	2942	2079	1617891
Omkostninger total			193370		132942				
Transportomkost. fra ØstDK til RDK			0		0				
Transportomkost. fra Vest DK til RDK			193370		132942				

Beregningsforudsætninger		kr/ton/år
Antal krydsninger af Storebælt r/t		527
Priser for kørsel		200
Kørsel m. enkelt cont.	400	379
Kørsel m. dobbelt cont.	550	727
Krydsning af storebælt m. stor lastbil retur	2000	379

Køb/leje af containere

	Antal komp. cont. (20m ³)	Antal alm. cont. (30 m ³)	Leje af containere kr/år	Leje af containere kr/ton
København Amt	169	0	11858	14
Frederiksberg Amt	101	0	7084	14
Roskilde Amt	68	0	4774	14
Vestsjællands Amt	52	0	3668	14
Storstrøms Amt	44	0	3108	14
Fyns Amt	26	47	3438	7
Sønderjyllands Amt	14	26	1914	7
Vejle Amt	14	26	1867	7
Ribe Amt	23	43	3128	7
Ringkøbing Amt	18	33	2413	7
Århus Amt	36	67	4860	7
Viborg Amt	14	25	1840	7
Nordjyllands Amt	27	50	3667	7
Total	607	318	53619	10

Alm. Cont. leje kr/dag	35
Komp. cont. leje kr/dag	70

Kapitalomkostninger hos Rockwool

	Maskinel kr/år	Bygninger	Omkostning kr/ton/år
Vamdrup	627.857	0	161
Øster Døenise	342.143	60.000	234
Total	970.000	60.000	184

Interne håndteringsomkost. hos Rockwool	
Kran/ton stendud tilført Rockwool	160

Totale omkostninger Model 3

Omkost. for mængder modtaget på RDK fra Øst Dk	1080
Omkost. for mængder modtaget på RDK fra Vest Dk	732
Omkost. for mængder modtaget på RG S90	0
Gennemsnitlig omkostning	868

Bilag G

Fremskrevne mængder af brugt stenuld for 2006 og 2008

	2003	Andel af total	Omdannet til 2006	90% for 2006	Omdannet til 2008	90% for 2008
Københavns Amt	941	15,00%	1250	1125	1515	1363
Frederiksborg Amt	562	8,96%	746	672	905	814
Roskilde Amt	379	6,04%	503	453	610	549
Vestsjællands Amt	290	4,63%	386	347	467	421
Storstrøms Amt	247	3,94%	328	295	398	358
Fyns Amt	567	9,03%	752	677	912	820
Sønderjyllands Amt	315	5,03%	419	377	508	457
Vejle Amt	515	8,21%	684	615	829	746
Ringkøbing Amt	398	6,33%	528	475	640	576
Ribe Amt	308	4,91%	409	368	495	446
Århus Amt	801	12,77%	1064	957	1289	1160
Viborg Amt	303	4,82%	402	362	487	438
Nordjyllands Amt	604	9,62%	802	721	972	874
Bornholms Amt	45	0,72%	60		73	
Total	6.276		8331		10098	
90% uden Bornholm	5.608		7.444	7.444	9.022	9022

Bilag H

Fremskrevne miljø og økonomiberegninger for 2006

Bilag H1: MILJØRESULTAT TABELLER FOR 2006

MILJØRESULTATTABEL FOR ÅR 2006. Svarende til et stenuldspotentiale på 8331 ton/år, indsamlet i alt 7444 i genanvendelsessystemet. (90% når Bornholm er fratrukket). Resultater givet pr. ton stenuld

	<i>pr. ton stenuld</i>	Reference-system	Model 1	Model 2	Model 3
Vægt.Miljø Eff.Pot. (PEM)					
Drivhuseffekt potentiale, 100 år	kg CO ₂ -ækv.	3,6	22,3	31,6	33,1
Forsuringspotentiale	kg SO ₂ -ækv.	0,03	0,2	0,2	0,2
Fotokemisk ozondan., potentiale (høj NO _x)	kg C ₂ H ₂ -ækv.	0,0002	0,001	0,002	0,002
Fotokemisk ozondan., potentiale (lav No _x)	kg C ₂ H ₂ -ækv.	0,0003	0,001	0,002	0,002
Nærings saltbelastningspotentiale	kg NO ₃ -ækv.	0,05	0,3	0,4	0,4
Normaliseret	mPE				
Vægtet	mPEM	0,8	5,0	7,1	7,4
		1,0	6,4	9,0	9,4
Affald					
Volumenaffald	kg	1000	0,1	0,06	0,07
Normaliseret (affald)	mPE	740,7	0,05	0,04	0,05
Vægtet (affald)	mPEM	814,8	0,1	0,05	0,06
Ressourcer					
Naturgas	kg	0,1	0,5	0,5	0,5
Råolie	kg	1,1	8,2	9,2	9,6
Stenkul	kg	0,01	0,1	0,1	0,1
Normaliseret (ressourcer)	mPE	2,0	15,5	17,4	18,2
Vægtet (ressourcer)	mPR	0,04	0,3	0,4	0,4

Difference tabel for 2006 mellem referencesystem og modeller

	<i>2006-tal</i>	Reference-system	Model 1	Model 2	Model 3
Vægtede miljøresultater (mPEM/ton)		815,9	6,4	9,1	9,5
Vægtede ressourceforbrug (mPR/ton)		0,04	0,1	0,4	0,4
Besparelse i miljøbelastning ved genanvendelse (mPEM/ton)			-809,5	-806,8	-806,4

Bilag H2 – Økonomi 2006

RESULTATTABEL FOR ÅR 2006. Svarende til et stenuldspotentiale på 8331 ton/år, indsamlet i alt 7444 i genanvendelsessystemet. (90% når Bornholm er fratrukket)

Transportomkostninger

<i>kr/ton/år</i>	Referencesystem	Model 1	Model 2	Model 3
Transportomkostninger fra byggeplads til deponi	113	-	-	-
Transportomkostninger fra Øst DK til RDK	-	-	527	527
Transportomkostninger fra Vest DK til RDK	-	370	370	370
Transportomkostninger fra Øst DK til RGS90	-	437	437	-
Krydsning af Storebælt for mængder fra Øst Danmark til RDK	-	-	200	200

Containerleje

<i>kr/ton/år</i>	Referencesystem	Model 1	Model 2	Model 3
Total	0	9	9	10

Kapitalomkostninger fordelt på fabrik

Kapitalomkostninger hos Rockwool	Maskinel kr/år	Bygninger	Model 1 Omkostning kr/ton/år	Model 2 Omkostning kr/ton/år	Model 3 Omkostning kr/ton/år
Vamdrup	627857	0	270	166	120
Øster Doense	342143	60000	181	181	181
Total	970000	60000	226	183	138

TOTALE OMKOSTNINGER FOR DE ENKELTE MODELLER

Omkostninger: Model 1

Model 1	kr/ton/år
Transportomkostninger fra Vest DK til RDK	370
Transportomkostninger fra Øst DK til RGS90	437
Krydsning af Storebælt	0
Containerleje	9
Kapitalomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	226
Håndteringsomkost. på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	160

Total omkostninger for model 1

<i>kr/ton/år</i>	Omkostninger for mængder til de to modtagsteder
Omkostninger for mængder modtaget på Rockwool	766
Omkostninger for mængder modtaget på RGS90	466
Gns. total omkostning	642

Omkostninger: Model 2

Model 2	kr/ton/år
Transportomkostninger fra Øst DK til RDK	527
Transportomkostninger fra Vest DK til RDK	370
Transportomkostninger fra Øst DK til RGS90	437
Krydsning af Storebælt, fordelt på mængder fra Øst DK	200
Containerleje	9
Kapitalomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	183
1.1 Håndteringsomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	160

Total omkostninger for model 2:

kr/ton/år	Omkostninger for mængder til de to modtagesteder
Omkost. for mængder modtaget på Rockwool fra Øst Dk	1080
Omkost. for mængder modtaget på Rockwool fra Vest Dk	723
Omkost. for mængder modtaget på RGS90	447
Gns. total omkostning	739

Omkostninger: Model 3

Model 3	kr/ton/år
Transportomkostninger fra Øst DK til RDK	527
Transportomkostninger fra Vest DK til RDK	370
Transportomkostninger fra Øst DK til RGS90	437
Krydsning af Storebælt, fordelt på mængder fra Øst DK	200
Containerleje	10
Kapitalomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	184
Håndteringsomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	160

Total omkostninger model 3

kr/ton/år	Omkostninger for mængder til de to modtagesteder
Omkost. for mængder modtaget på Rockwool fra Øst Dk	1035
Omkost. for mængder modtaget på Rockwool fra Vest Dk	678
Omkostninger for mængder modtaget på RGS90	-
Gns. total omkostning	817

Tablel for totale omkostninger (gns. mht Rockwool og RGS90)

kr/ton/år	Referencesystem	Model 1	Model 2	Model 3
Gns. omkostning	923	642	739	817

Bilag J

Fremskrevne miljø og økonomiberegninger for 2008

Bilag J1: MILJØRESULTAT TABELLER FOR 2008

MILJØRESULTATTABEL FOR ÅR 2008. Svarende til et stenuldspotentiale på 10.098 ton/år, indsamlet i alt 9022 i genanvendelsessystemet. (90% når Bornholm er fratrukket) Resultater givet pr. ton stenuld

	<i>pr. ton stenuld</i>	Referenc esystem	Model 1	Model 2	Model 3
Vægt.Miljø Eff.Pot. (PEM)					
Drivhuseffekt potentiale, 100 år	kg CO2-ækv.	3,6	22,3	31,6	33,0
Forsuringspotentiale	kg SO2-ækv.	0,03	0,2	0,2	0,2
Fotokemisk ozondan., potentiale (høj NOx)	kg C2H2-ækv.	0,0002	0,001	0,002	0,002
Fotokemisk ozondan., potentiale (lav NOx)	kg C2H2-ækv.	0,0003	0,001	0,002	0,002
Næringssaltbelastningspotentiale	kg NO3-ækv.	0,05	0,3	0,4	0,4
Normaliseret	mPE	0,8	5,0	7,1	7,4
Vægtet	mPEM	1,0	6,4	9,0	9,4
Affald					
Volumenaffald	kg	1000	0,1	0,06	0,07
Normaliseret (affald)	mPE	740,7	0,05	0,04	0,05
Vægtet (affald)	mPEM	814,8	0,1	0,05	0,06
Ressourcer					
Naturgas	kg	0,1	0,5	0,5	0,5
Råolie	kg	1,1	8,2	9,2	9,6
Stenkul	kg	0,01	0,1	0,1	0,1
Normaliseret (ressourcer)	mPE	2,0	15,5	17,4	18,2
Vægtet (ressourcer)	mPR	0,04	0,3	0,4	0,4

Difference tabel for 2008 mellem referencesystem og modeller

<i>2008-tal</i>	Reference- system	Model 1	Model 2	Model 3
Vægtede miljøresultater (mPEM/ton)	815,9	6,4	9,1	9,5
Vægtede ressourceforbrug (mPR/ton)	0,04	0,1	0,4	0,4
Besparelse i miljøbelastning ved genanvendelse (mPEM/ton)		-809,5	-806,8	-806,4

Bilag J2 – økonomi

ØKONOMI RESULTATTABEL FOR ÅR 2008. Svarende til et stenuldspotentiale på 10.098 ton/år, indsamlet i alt 9022 i genanvendelsessystemet. (90% når Bornholm er fratrukket)

ØKONOMI

Transportomkostninger

<i>kr/ton/år</i>	Reference-system	Model 1	Model 2	Model 3
Transportomkostninger fra byggeplads til deponi	113	-	-	-
Transportomkostninger fra Øst DK til RDK	-	-	527	527
Transportomkostninger fra Vest DK til RDK	-	370	370	370
Transportomkostninger fra Øst DK til RGS90	-	437	437	-
Krydsning af Storebælt for mængder fra Øst Danmark til RDK	-	-	200	200

Containerleje

<i>kr/ton/år</i>	Referencesystem	Model 1	Model 2	Model 3
Total	0	9	9	10

Kapitalomkostninger fordelt på fabrik

Kapitalomkostninger hos Rockwool	Maskinel kr/år	Bygninger	Model 1 Omkostning kr/ton/år	Model 2 Omkostning kr/ton/år	Model 3 Omkostning kr/ton/år
Vamdrup	627857	0	223	137	99
Øster Doense	342143	60000	149	149	149
Total	970000	60000	187	151	114

TOTALE OMKOSTNINGER FOR DE ENKELTE MODELLER

Omkostninger: Model 1

Model 1	kr/ton/år
Transportomkostninger fra Vest DK til RDK	370
Transportomkostninger fra Øst DK til RGS90	437
Krydsning af Storebælt	0
Containerleje	9
Kapitalomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	187
Håndteringsomkost. på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	160

Total omkostninger for model 1

<i>kr/ton/år</i>	Omkostninger for mængder til de to modtagesteder
Omkostninger for mængder modtaget på Rockwool	726
Omkostninger for mængder modtaget på RGS90	446
Gns. total omkostning	618

Omkostninger: Model 2

Model 2	kr/ton/år
Transportomkostninger fra Øst DK til RDK	527
Transportomkostninger fra Vest DK til RDK	370
Transportomkostninger fra Øst DK til RGS90	437
Krydsning af Storebælt, fordelt på mængder fra Øst DK	200
Containerleje	9
Kapitalomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	151
Håndteringsomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	160

Total omkostninger for model 2:

<i>kr/ton/år</i>	Omkostninger for mængder til de to modtagesteder
Omkost. for mængder modtaget på Rockwool fra Øst Dk	1048
Omkost. for mængder modtaget på Rockwool fra Vest Dk	691
Omkost. for mængder modtaget på RGS90	447
Gns. total omkostning	713

Omkostninger: Model 3

Model 3	kr/ton/år
Transportomkostninger fra Øst DK til RDK	527
Transportomkostninger fra Vest DK til RDK	370
Transportomkostninger fra Øst DK til RGS90	437
Krydsning af Storebælt, fordelt på mængder fra Øst DK	200
Containerleje	10
Kapitalomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	114
Håndteringsomkostninger på Rockwool (fordelt på modtagne ton)	160

Total omkostninger model 3

<i>kr/ton/år</i>	Omkostninger for mængder til de to modtagesteder
Omkost. for mængder modtaget på Rockwool fra Øst Dk	1011
Omkost. for mængder modtaget på Rockwool fra Vest Dk	654
Omkostninger for mængder modtaget på RGS90	-
Gns. total omkostning	793

Tablel for totale omkostninger (gns. mht Rockwool og RGS90)

<i>kr/ton/år</i>	Referencesystem	Model 1	Model 2	Model 3
Gns. omkostning	923	618	713	793