Lättfyllnadsmaterial kring fjärrvärme- & fjärrkylaledningar

Futureheat rapport 2021:818

Jan Henrik Sällström, RISE

2022-02-03

Innehåll

- Omfattning av projektet (3)
- Sammanfattning (4-7)
- Mekaniska försök (8)
- Experiment friktion (9-11)
- Experiment – värmeledning, etc (12)
- Mekaniska simuleringar (13-17)
- Termiska simuleringar (18-19)
- Miljö- och arbetsmiljöaspekter (20)
- Avslutande kommentarer (21)

Omfattning

- Anläggningstekniska aspekter
  - Lättfyllnadsmaterial: Skumglas
  - Kringfyllnadsmaterial & återstående fyllnadsmaterial
- Mekaniska aspekter
  - Friktion & nedkrossning
  - Instabilitet
- Termiska aspekter
  - Värmeförluster & temperatur
- Miljö och arbetsmiljöaspekter

Sammanfattning

- Läggning
  - Konventionell utrustning
  - Uppför sig som krossmaterial
  - Lägre kornhållfasthet
  - Stabilt efter packning
  - Rasvinkeln är stor (45°)
  - Går att schakta rörgravar

Sammanfattning forts

- Fjärrvärme
  - Friktionskraften blir mindre
  - Lättare
  - Enbart skumglas ger dubbelt så långa friktionslängder
  - Säkerhet mot vertikal buckling (upp ur marken) minskar
  - Lateral buckling vid parallella schakt kan bli problematiska
  - Experimenten: Friktionen minskar med tiden
  - Stora förskjutningar & spänningar vid böjar (utmattning, krossat pur-skum)

- Skumglas kan inte utan vidare användas som kringfyllnads- och återstående fyllnadsmaterial för fjärrvärmeledningar med höga driftstemperaturer

Sammanfattning forts 2

- Fjärrkyla
  - Lägre temperaturökningar och axiella krafter ger att friktionen mindre viktig
  - Termiska ledningsförmåga är tio gånger lägre än den för sand eller krossmaterial
  - Alt till isolerade fjärrkylaledningar med traditionella fyllnadsmaterial kan vara oisolerade med skumglas
  - Gäller för torrt skumglas
  - Försämring då skumglaset blir fuktigt

- Slutsatser baserade på stationära förhållanden

Sammanfattning forts 3

- Miljö
  - Föroreningsrisken vid användning av skumglas som fyllnadsmaterial i mark och väg bedöms som ringa
  - Tillverkat av återvunna förpackningar
  - Inert och kemiskt stabilt
  - Utlakning - inga mätbara mängder påvisats av tungmetaller
- Arbetsmiljö
  - Mest Icke-kristallina glaspartiklar
  - Kristallina kiselkarbidpartiklar 3-5 %
  - Följ arbetsmiljöverkets gränsvärden för oorganiskt damm i inandningsluft

Mekaniska experiment

- Statisk belastning – EN 1097-11
- Cyklisk belastning - EN 15732
  - 10-120 kPa, 6 milj cykler
- Resultat
  - Densitet löspackat 180 kg/m^3
  - Densitet packat 240 kg/m^3 (0,5 mm, 50 Hz, 180 s, EN1097-11)
  - Tryckhållfasthet 460 kPa (10 % def)
- Cyklisk belastning
  - Krav enligt BVS 585.11 på 2 % deformation uppfyllt

Finmaterialhalt (korn < 2 mm)

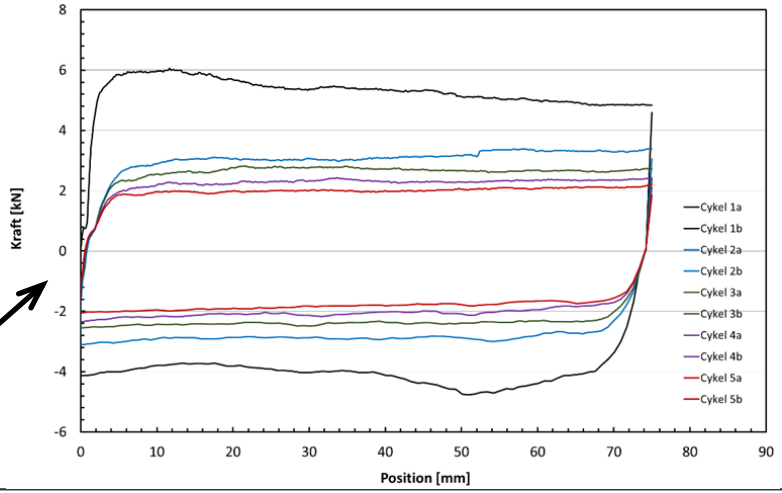
	Finmaterialhalt [%]
Jungfruligt skumglas	6,7
Skumglas, cykliskt 1	13,1
Skumglas, cykliskt 2	10,0

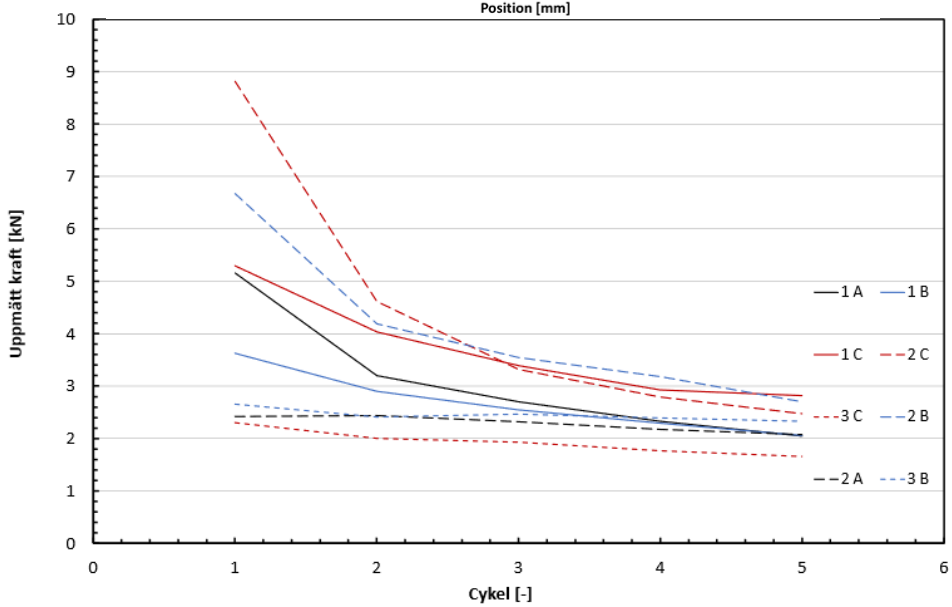
Friktion - Experiment

- Rigg: Stor låda 2,5 m x 1,5 m (L x B)
- Fjärrvärmerör med DN 125/250 mm dras fram & tillbaka i skumglas (10-50 mm /min)
- Wacker AS60E, 70 kg - tryck på 180 kPa
- Swepac F 75 E, 75 kg - tryck på 55 kPa
- Slätt rör & rör med mantelskarv
- Densitet efter packning 270 kg/m^3

Friktion – Experiment - slätt

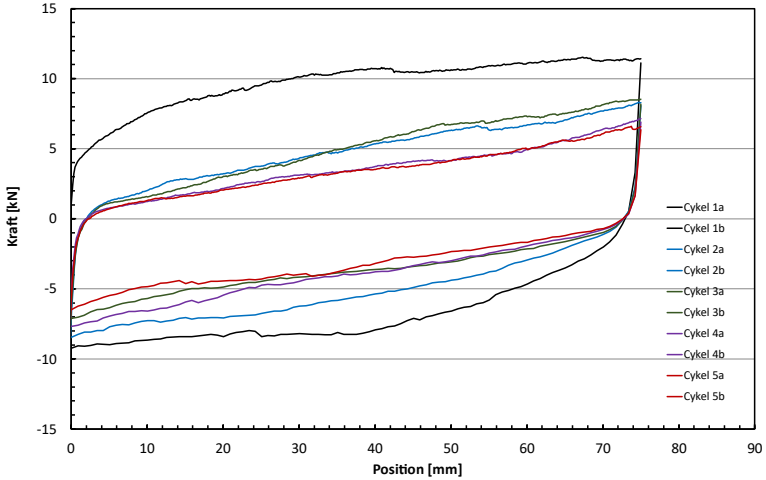
- Rör liggande på packad skumglas
  - Friktionskoefficient 1,0
- Vertikalt tryck vid rör i Lastfall A, B & C: 3,5; 7; 14 kPa
- Lastfall 1A: Uppmätt kraft under 5 cykler med fjärrvärmerör liggande i packat skumglas med vertikalt tryck på 3,4 kPa
- Försök: 1A, 1B, 1C, ompackning; 2C, 3C, ompackning; 2B, 2A, 3B
- Ökat tryck motsvarar inte ökad friktionskraft
- Efter 5 cykler: 1,6 -2,8 kN





Friktion – Experiment - skarv

- Högre krafter än vid slätt rör
- Annat utseende – ökande last efter vändläge
- Hyfsad packning
  - Valvverkan redan från början
  - Trycket mellan fyllnadsmaterial och mantel blir lägre än förväntat
  - Tunnel bildas då korn slipas
- Skumglas packas och kilas ihop
- Finfördelad fraktion skumglas kring fjärrvärmeröret



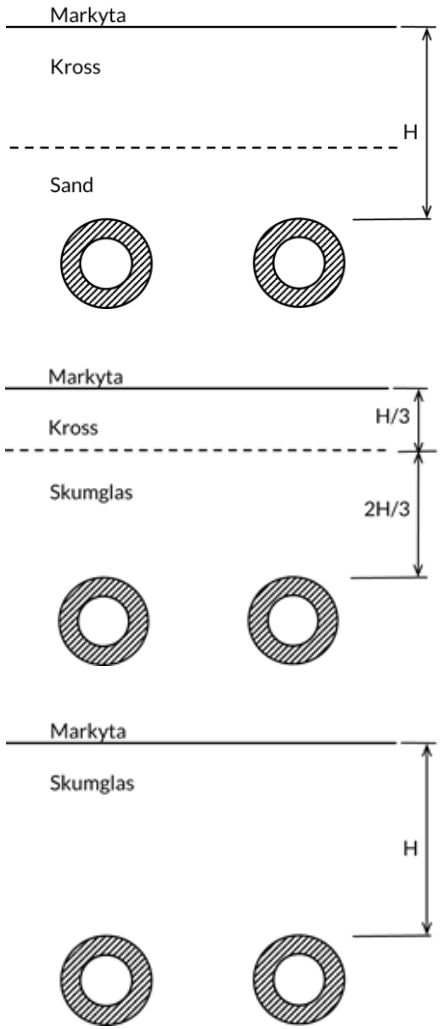
Experiment – värmeledning, etc

- Värmekonduktivitet enligt EN 12 667
- Skumglaset siktades - fraktion 4-31,5 mm
- Resultat
  - Värmekonduktivitet 0,0954 W/(m·K)
  - Vattenupptagning ca 50% efter 1 dygn

Parameter	Värde
Provföremålets tjocklek under prov [mm]	162,0
Provföremålets densitet [kg/m³]	232,2
Temperaturdifferens över prov-föremål [°C]	18,2
Värmeflödestäthet [W/m²]	10,7
Värmekonduktivitet [W/(m·K)]	0,0954

Mekaniska simuleringar

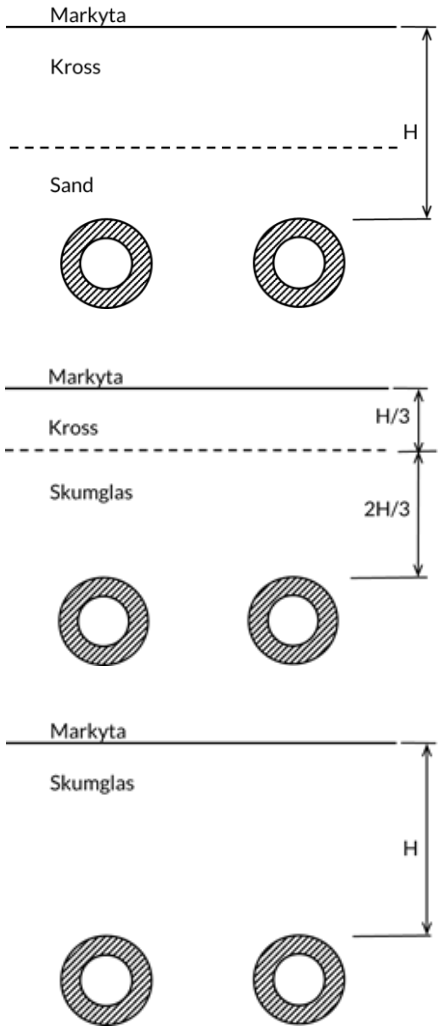
- Tre fall:
  - Fall 1 – traditionell fyllning
  - Fall 2 – skumglas kring rören och 1/3 krossmaterial närmast markytan
  - Fall 3 – enbart skumglas.
- 4 dimensioner
  - DN 100/225 mm, DN 100/250 mm, DN 200/355 mm & DN 400/630 mm
- Täckningen H = 0,6 m



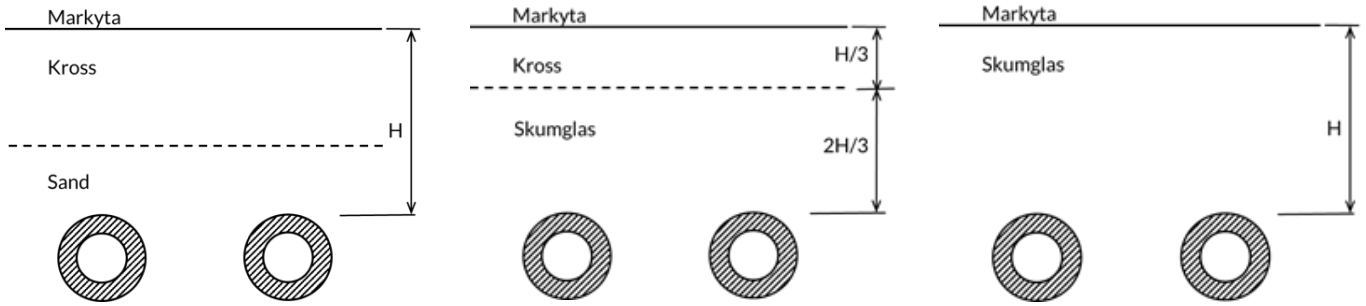
Mekaniska simuleringar forts

- Indata till beräkningar

Indata	Beteck-ning	Värde	Enhet
Viktdensitet sand eller kross	γ	18	kN/m^3
Viktdensitet skumglas	γ_l	3,5	kN/m^3
Elasticitetsmodul stål	E_s	200	GPa
Tvärkontraktionstal stål	ν_s	0,3	
Längdutvidgningskoefficient stål	α_s	12	µm/(m K)
Täckning	H	0,6	m
Tryck i medierör	p	16	bar



Resultat: Vertikalt tryck & Friktionskraft



Friktionskraften blir avsevärt mindre då skumglaset är lättare än kross

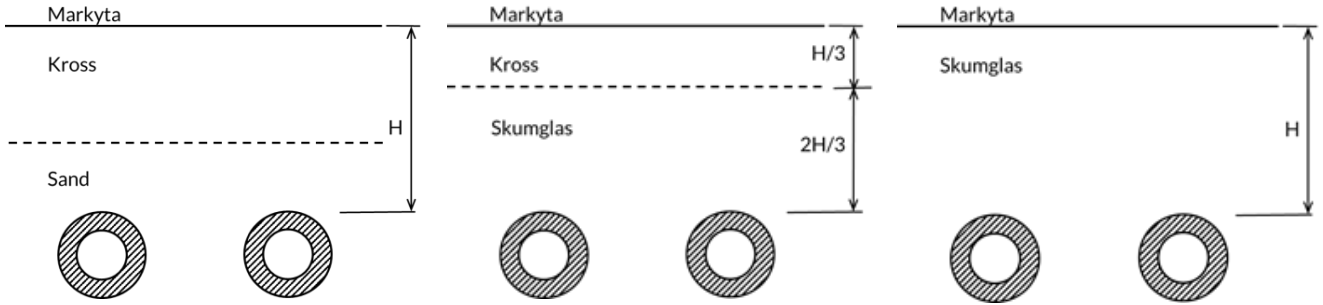
Halvering

Dimension	Vertikalt tryck [kPa]		
Fyllnads-material	Tradi-tionell	67% skumglas	Enbart skumglas
DN 100/225	13	5,4	2,5
DN 100/250	13	5,4	2,5
DN 200/355	14	5,6	2,7
DN 400/630	16	6,1	3,2

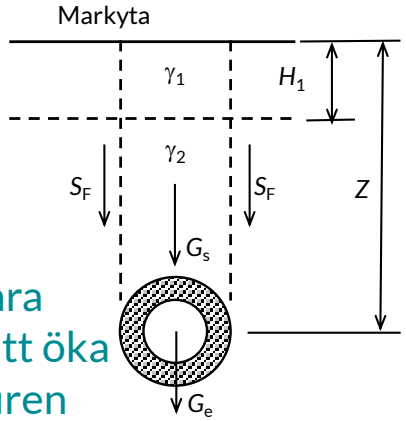
Dimension	Friktionskraft [kN/m]		
Fyllnadsmaterial	Tradi-tionell	67% skumglas	Enbart skumglas
Friktionsvinkel vid rör [°]	30	45	45
Friktion mellan rör & fylle	0,4	1,0	1,0
DN 100/225	2,7	2,5	1,1
DN 100/250	3,1	2,8	1,3
DN 200/355	4,7	4,1	2,0
DN 400/630	9,8	7,8	4,1

Uppmätt för skumglas

Resultat: Säkerhet mot vertikal buckling enl EN 13941-1

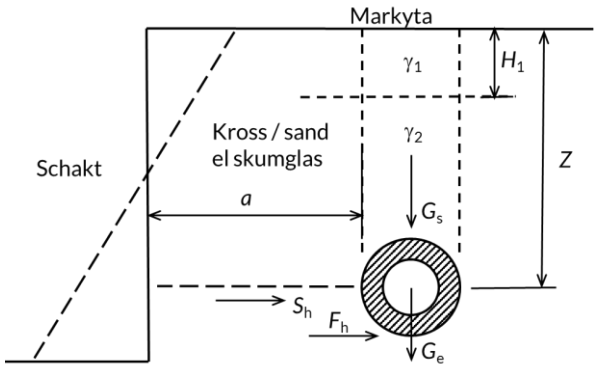


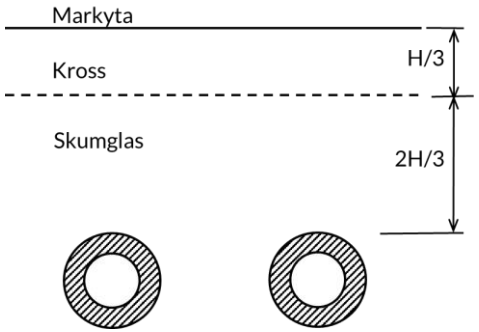
Dimension	Säkerhet mot buckling			
Fyllnadsmaterial	Traditionell	67% skumglas	Enbart skumglas	
Temperaturökning [K]	90	90	90	45
DN 100/225	2,4	1,6	0,91	2,0
DN 100/250	2,6	1,7	0,96	2,0
DN 200/355	2,7	1,8	1,1	1,9
DN 400/630	3,1	2,1	1,4	1,9

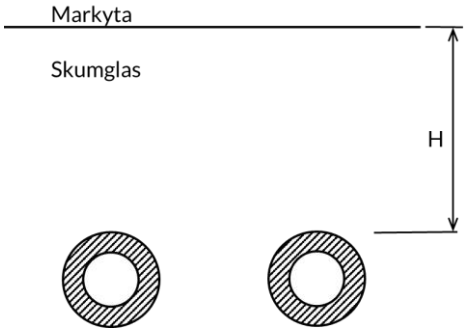


Det kan vara riskabelt att öka temperaturen 90° C då rören endast täcks av skumglas

Resultat: Säkerhet mot lateral buckling - parallell schaktning



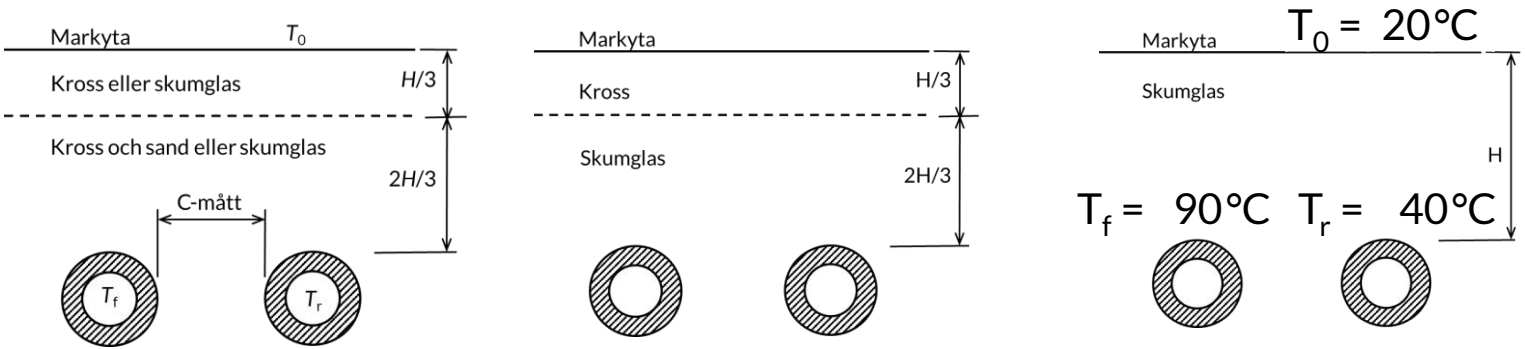




Dimension		**Säkerhet mot buckling**		
Fyllnadsmaterial	Traditionell	67% skumglas	Enbart skumglas	
Temperaturökning [K]	90	90	90	45
DN 100/225	1,6	1,4	0,97	1,9
DN 100/250	1,6	1,5	1,0	2,0
DN 200/355	1,5	1,4	1,0	2,0
DN 400/630	1,5	1,5	1,2	2,2

Schakta längre från rören än 0,5 m då temperaturen ökas 90°C och rören endast täcks av skumglas

Resultat: Temperatur på mantel – stationära förhållanden



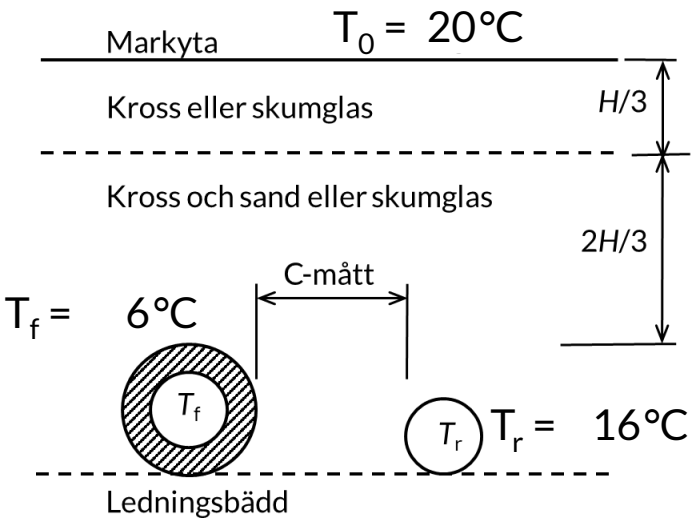
Indata	Beteck-ning	Värde	Enhet
Specifikt värme hos vatten	c_p	4180	J/Kg K
Termisk ledningsförmåga hos mark	λ_S	1,5	W/m K
Termisk ledningsförmåga hos lättfyllt	λ_H	0,15	W/m K
Termisk ledningsförmåga hos PUR	λ_{PUR}	0,029	W/m K

Dimension	C-mått [mm]	Temperatur på mantel [°C]		
Fyllnads-material		Tradi-tionell	67% skumglas	Enbart skumglas
DN 100/225	375	26	49	51
DN 100/250	350	25	46	48
DN 200/355	355	27	52	54
DN 400/630	370	26	50	52

Det blir avsevärt varmare mantel då rören omges av skumglas

Värmeförluster minskar här med 30-40% då rören omges av skumglas

Resultat: Fjärrkyla - förluster



Dimension	C-mått [mm]	Förlust [W/m]			Förlust framledning [W/m]		
Fyllnads-material		Tradi-tionell	67% skumglas	Enbart skumglas	Tradi-tionell	67% skumglas	Enbart skumglas
Ø315/450	350	-17	-4,1	-3,7	-6,3	-3,7	-3,5
Ø315 (oisolerad)	418	-43	-5,8	-5,1	-46	-6,2	-5,7

Värmeförluster av samma storlek för isolerad fram-ledning i sand & oisolerad i skumglas

Miljö- och arbetsmiljöaspekter

- Miljö
  - Totala halten tungmetaller i skumglas är låg
  - Tillverkat av återvunna förpackningar
  - Inert och kemiskt stabilt
  - Utlakning (CEN/TS 166637-2) - inga mätbara mängder påvisats av tungmetaller
  - Föroreningsrisken vid användning av skumglas som fyllnadsmaterial i mark och väg bedöms som ringa
- Arbetsmiljö
  - Mest Icke-kristallina glaspartiklar
  - Kristallina kiselkarbidpartiklar 3-5 %
  - Följ arbetsmiljöverkets gränsvärden för oorganiskt damm i inandningsluft

Tungmetall	Ämnes-beteck-ning	Gräns-värde [mg/kg]	Uppmätt halt [mg/Kg]	Uppmätt lakning [mg/m²]
Arsenik	As	40	<10	<2
Kadmium	Cd	2	<5	<1
Krom	Cr	550	325	<1
Koppar	Cu	200	19	<1
Kvicksilver	Hg	1	<0,02	<0,01
Nickel	Ni	50	11	<2
Bly	Pb	1000	150	<2
Antimon	Sb	150	23	<2
Zink	Zn	200	94	<2

Hygieniska gränsvärden (AFS 2018:1)

Ämne	Fraktion	Nivågränsvärden
Damm, oorganiskt	Inhalerbar fraktion	5 mg/m³
	Respirabel fraktion	2,5 mg/m³

Avslutande kommentarer

- Anläggningstekniska aspekter
  - Konventionell utrustning
  - Uppför sig som krossmaterial
  - Stabilt efter packning
- Mekaniska aspekter
  - Lägre kornhållfasthet
  - Lägre friktionskrafter
  - Risk för instabilitet
  - Friktionen minskar med tiden
  - Särskilda åtgärder för fjärrvärme
- Termiska aspekter
  - Mindre värmeförluster
  - Högre manteltemperatur
  - Intressant för fjärrkyla

- Miljö och arbetsmiljöaspekter
  - Föroreningsrisken vid användning av skumglas som fyllnadsmaterial i mark och väg bedöms som ringa.
  - Om hygieniska gränsvärdena i AFS 2018:1 efterlevs, bedöms det **inte** finnas några arbetsmiljöproblem