

ÅTERVUNNEN BETONG SOM KABELSAND -TEKNIK OCH MÖJLIGHETER

Högskoleingenjörsutbildning i samhällsbyggnadsteknik

Jirayu Worasaen
Yamin Azizi



HÖGSKOLAN I BORÅS

Program: Högskoleingenjörsutbildning i samhällsbyggnadsteknik
Svensk titel: Återvunnen betong som kabelsand – Teknik och möjligheter
Engelsk titel: Recycled Concrete as Cable Sand - Technique and Opportunities
Utgivningsår: 2023
Författare: Jirayu Worasaen, Yamin Azizi
Handledare: Madumita Sadagopan
Externhandledare: Camilla Magnusson, Thomas Magnusson
Examinator: Agnes Nagy
Nyckelord: Återvunnen betong, Kabelsand, Hållbar samhällsbyggnad

Sammanfattning

Betong är ett av det mest använda material i världen inom byggbranschen. När betongen har uppnått sin livslängd, återvinns den ofta som fyllnadsmaterial eller inom vägbyggen.

Detta examenarbete har grundats på experimentella studier och kvalitativ undersökning av återvunnen betong som kabelsand så kallad ledningsbädd. Återvunnen betong ersätter natursand med samma kornstorlek för att kunna jämföra och ha natursand som referens.

Syftet med denna vetenskapliga rapport är att undersöka tekniska kravet för materialets resistivitet, det vill säga förmåga att leda bort värme som alstras i kablarna.

Experimentella arbetet bestod av mätning av resistivitet för krossad återvunnen betong 0-4 mm, natursand 0-4 mm och bergkross 0-4 mm. Den krossade betongen har upparbetat på olika sätt för att uppnå referensmaterialets resistivitet. Bland annat har materialets mekanisk bearbetat och karboniserat.

Resultatet visar att resistiviteten beror på graderingen samt att fuktkvoten har en stor påverkan på resistivitetmätningen. Ju mer blandat material med finhalt desto bättre resistivitet får man med förhållande till fuktkvoten. Resultatet av resistivitet för återvunnen betong är 1,5 mK/W med kompensering av vattenabsorption visar att återvunnen betong kommer att kunna användas som kabelsand, men andra parametrar måste testas och godkänds innan användningen i praktiken. Samt referensen till återvunnen betong är natursand som ligger på 1 mK/W och resultatet som har uppnåtts är 1,5 mK/W vilket ligger i ett intervall där bergkross ligger på 1,6 mK/W.

Abstract

Concrete is one of the most used building materials in the construction industry. When the concrete has reached its life expectancy, it is often recycled as backfilling material or road construction.

This thesis is based on experimental studies and qualitative research of recycled concrete for replacement as cable sand, also known as bedding. Recycled concrete substitutes natural sand with the same size fraction to be able to compare and have natural sand as reference.

The purpose of this report is to research the technical requirements for materials thermal resistivity, measurement of the capacity of a material to conduct heat.

The experimental work consists of measuring the resistivity of crushed recycled concrete (0-4 mm), natural sand (0-4 mm), and crushed rock (0-4 mm). The crushed recycled concrete was processed in different ways to achieve the resistivity of the reference material. This included mechanical processing and carbonation of the material.

The results show that resistivity depends on the gradation, and the moisture content has a significant impact on resistivity measurement. The more combination of material with fine fractions the better resistivity is obtained in relation to the moisture content. The resistivity result for recycled concrete is 1.5 mK/W with compensation for water absorption, indicating that recycled concrete can be used as cable sand. Other parameters need to be tested and approved before practical use. The reference material, natural sand, has a resistivity of 1 mK/W, and the achieved result of 1.5 mK/W for recycled concrete falls within the range where crushed rock is at 1.6 mK/W.

Förord

Detta examenarbete utgör en avslutande del av högskoleprogrammet Byggingenjör vid Högskolan i Borås. Denna studie vill vi först presentera ett antal personer som har kommit att bli mycket viktiga under arbetets gång. Vi vill framför allt tacka våra intervjupersoner som ställde upp med sina kloka tankar, sina argument och sina resonemang. Tack vara ert engagemang har denna studie varit möjlig att genomföra.

Vi vill också tacka dig, vår handledare Madumita Sadagopan, som bidragit med konkreta tips och idéer, för ditt ödmjuka sätt att ge kritik samt din positiva inställning till vårt arbete. Ytterligare två personer som förtjänar ett stort tack som har bidragit med motiverande och glädjekänsla, samt att ha fått arbeta i deras laboratorium på Temakon är vår externa handledare Camilla Magnusson och Thomas Magnusson. Sist men inte minst vill vi tacka Boråsregionen för insatsen för detta projekt.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING.....	6
1.1 Syfte	7
1.2 Avgränsning	7
2 LITTERATURSTUDIE	8
2.1 Kabelsand.....	8
2.2 Betongens beståndsdelar	9
2.3 Framställning av återvunnen betong.....	10
3 INTERVJUUNDERSÖKNING	12
4 EXPERIMENTELL STUDIE.....	13
4.1 Ballast framställning	13
4.2 Ballastegenskaper.....	15
4.3 Bearbetning av ballast.....	16
4.4 Resistivitet testning	17
5 RESULTAT	20
5.1 Resultatet från experimentell studie.....	20
5.2 Resultatet från intervjuundersökning	20
6 DISKUSSION	22
7 SLUTSATS	22
REFERENSER	23
BILAGA INTERVJUGUIDE	25

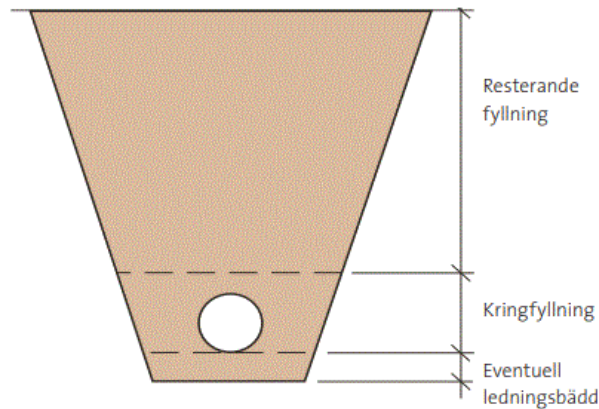
1. INLEDNING

Enligt statistikdatabasen (Boverket 2023) visar att cirka 14,2 miljoner ton avfall kommer från byggsektorn år 2020. De största mängder för den avfall kommer från bygg- och rivningsavfall och den ökas jämförts 2018. Avfallet från betong- och asfalt ligger upptill 0,6 miljoner ton i Sverige enligt Boverket (Boverket 2023). För att Sverige ska uppnå miljömålet har svenska miljömålsystemet ett etappmål för bygg och rivningsavfall. Där återvinningsgrader ska öka minst till 70 procent av det totala avfallet i året 2025. Återvinningsgrader har uppnått till 52,7 procent enligt undersökning från naturverket år 2020 (Naturvårdsverket 2022). Sverige har ett mål att all betong som används i Sverige ska vara klimatneutral år 2045 och klimatneutral betong ska finnas på marknader år 2030 (Svensk betong 2018). Detta kan förklaras att det finns mycket avfall som fortfarande deponeras, framför allt de orena mineralavfall och jordmassor till betong och asfalt. Därför är återvinning av byggmaterial väldigt högt uppskattat, framför allt krossad betong som behöver tas hand om till återvinning (Boverket 2023).

SGUs statistik har sammanställts svenska produktion av ballast för naturgrus, sand och bergkross visar att 101 miljoner ton har levererats under 2020. Naturgrusproduktion ligger på 7 miljoner ton och det har minskat 0,8 miljoner ton jämförts med år 2019 (SGU 2021).

Att använda bergkross och naturgrus som kringfyllning till ledningsbädd runt kablar eller rör på vatten, avlopp, el eller fjärrvärme. Kallas för kabelsand, enligt figur 1 visar hur fyllningen av ledningsgravar ser ut. Det kan delas ut till tre olika zoner. Varje zon har olika specifika krav på materialet som ska användas. I AMA 98 finns alla krav på material för ledningsgravar (SGU 2006). Det finns krav på kringfyllning och ledningsbrädd, där speciella kravet gäller beroende på användningsområdet, till exempel på en fyllning av dräneringsrör ska kringfyllningen och ledningsbädden som ska leda bort vatten från marken ha specifika krav på material (SGU 2006), eller kringfyllningen runt kablar under vägar där den ska kunna belastas av trafik. Syftet med packningen av ledningsgraven är att kunna stänga alla hålrum som finns i materialet, kringfyllningen och ledningsbädden ska packas tillräckligt för att det ska skapas ett motstånd, dvs ett material är bra packat som har inga hålrum med bra ledningsförmåga (Vatten och samhällsteknik 2021).

En komponerad metod är fuktkvot som anges i procent och är förhållandet mellan förångningsbara vattnets vikt dividerat på materialets volym. Fuktkvoten i ett material är viktigt för att fylla hålrummen som finns och skapa täthet vilket påverka värmeledningsförmåga, det finare materialet är desto bättre värmeledningsförmåga den har med förhållande till fuktkvot och packning (Burström 2021).



Figur 1 Ledningsgravar princip som delas ut till tre olika zoner (SGU 2006).

1.1 Syfte

Syftet med denna vetenskapliga rapport är att undersöka möjligheterna att använda återvunnen betong som kabelsand med avseende på det tekniska kravet på resistivitet, det vill säga förmåga att leda bort värme som alstras i kablarna.

Frågeställningar

För att besvara syftet ovan kommer arbetet att besvara dessa frågor:

- Kan återvunnen betong användas som kabelsand med eller utan behandling?
- Är det fukt eller packning som påverkar termisk resistivitet?

1.2 Avgränsning

Arbetet är en teknisk undersökning som inte kommer att beröra vilken typ av cement som användes före återvinningen eller betongens egenskaper. Undersökningen kommer endast att fokusera på resistivitet med hjälp av packad krossad betong med en fraktion på 0/4 mm.

2 LITTERATURSTUDIE

2.1 Kabelsand

Ledningsbädd, även känd som kabelsand, är en vanlig teknisk lösning inom bygg- och anläggningsbranschen. Sanden används som ett fyllnadsmaterial runt kablar för att ge skydd. I Sydkorea används kabelsand som rörläggning och återläggning av vägar. Eftersom det har uppstått en brist på sand som fyllnadsmaterial har Korea Electric Power Corporation (KEPCO) undersökt möjligheten att använda återvunnen betong som ersättning för kabelsand. För att använda återvunnen betong som kabelsand finns det fyra krav som måste upprätthållas: För det första måste materialet kunna leda värme lika bra som sand gör. För det andra måste återvunnen betong kunna produceras för att kunna användas. För det tredje måste materialet ha samma fysikaliska och dynamiska egenskaper som sand för att underlätta hanteringen på plats. Slutligen får användningen av den återvunna betongen inte ha inverkan på stabiliteten i vägen med hänsyn till belastning från vägen och rören.

Undersökningen gjordes med flera olika faktorer som kompaktering, gradering, termisk resistivitet, flisighet osv. Experimentet har visat att kompaktering är den viktigaste faktor som är karakteriserad för CCA (Crushed Concrete Aggregates). Resultatet på undersökningen är att materialet var lönsamt och man kunde spara upp till 50 % när det gäller ekonomi (Yeo 2011).

Vanliga kabelsand material

Naturgrus

För att producera naturgrus måste jordarter sorteras i olika storlekar som sand, grus och sten. För att producera betong så måste denna typ av ballast åtminstone innehålla ett av materialen som finns (Burström 2021). För att använda återvunnen betong som kabelsand måste naturgrus erhållas i ursprunglig betong.

Bergkross som ballast

Bergkross har använts som ett alternativ ballast med ersättning av naturgrus som kabelsand. Eftersom det är brist och nationella miljömål har naturgrus tillverkats mindre. Bergkross är ett alternativ att använda som ballast. Det finns två vanliga bergkross som används som ballast. Det första är krossade bergkross som kallas makadam, makadam är grov och det andra är okrossat bergkross som kallas för singel. Singel användes med rundade korn och användes nästan aldrig i betongen. Kornstorleksfördelning för ballast kan bestämmas med hjälp av en siktkurva eller graderingskurva. Siktkurva kan bestämmas genom att sikta med materialskakning (Burström 2021). Bergkross kan användas som kringfyllnadsmaterial, på grund av att bergkross har egenskaper som tillgänglighet, kornformegenskap, fysikaliska egenskap, hanterbarhet osv. utifrån experimentet visades att 0/31,5 mm fraktion är bättre och är mer lämpad som kringfyllnadsmaterial eftersom den har lägre fraktion än 0/16 som har högre andel finmaterial som ger högre värde på flisighet. Detta visar att flisighet är en viktig faktor för kring fyllning (Bood & Götz 2020).

Flisighet

Flisighet är ballast fysikaliska egenskaper enligt SS-EN 933-3 som visar på hur kornformen hos material ser ut. Det kan vara skillnad mellan material flisighetindex beroende på flera olika faktorer till exempel spaltning, striering, kemisk struktur och hur krossprocessen påverkar materialet (Bood & Götz 2020). Flisighet är metod där ballasten siktas genom ett spaltskikt, där ballasten i smalkorn passerar och ballast med rundare korn stannar (Sadagopan 2019).

Standardkrav

Termisk resistivitet (internationella standardkrav)

Termiska resistiviteten för jord enligt International Electrotechnical Commission (IEC) som bedriver standardisering inom det elektrotekniska området. På IEC 60287-3-1 finns krav på termisk resistivitet i de olika länder. Till exempel termiska resistivitet i Finland och Tyskland ligger på 1 mK/W och i Kanada är kravet 1,2 mK/W.

Allmänna material och arbetsbeskrivning (AMA) för Packning

Enligt standarden AMA CE/1 fyllningen för ledningsbädd under kabel som ska utföras. Det är material typ 2 eller 3B, då 8 mm fraktionen som är störst för materialet. För ledningsbädd fyllningen enligt material typ 2 eller 3B ska packning utföras av följande CE/5, som beskriver hur mycket fyllning och packning för grundläggning det ska vara. Exempel på packning med 300 kg material motsvarar en fukthalt lägre än 3,5 %, för lagertjockleken motsvarar det 0,2 m.

2.2 Betongens beståndsdelar

Betong är ett av de äldsta byggmaterial som används. Man kan använda betong till olika områden. Såsom husstomme, broar, fasader, väggar eller husgrunder. Betong har de unika egenskaper som god beständighet, hög hållfasthet och formbarhet. Betong är ett material med lång livslängd samt den kan påfrestningar i form av fukt och den är obrännbart material, därför betongens är en säkra byggmaterial. Dessa är anledning till att man byggde med betong i många år sedan. (Burström, P.G. 2021). Enligt tabell 1 visas att betongen har låg resistivitets värde vilket man kan koppla att betongen skulle fungera som fyllnadsmaterial för kabelsand.

Tabell 1 Värden på densitet, värmeledningsförmåga och resistivitet i olika material (Burström, P.G. 2021)

Material	Densitet [kg/m ³]	Värmeledningsförmåga (W/mK)	Resistivitet (mK/W)
Granit (grus)	2700	3,5	0,29
Luft	1,2	0,026	38,46
Vatten	1000	0,6	1,67
Betong	2200	1,7	0,58

Packning och fukt

Packning för sand, cement och krossat berg har stor betydelse för densitet. Om man fyller material i ett kärl med torrt material utan komprimera det, då densiteten i materialet blir låg. Om man vibrerar eller skakar materialet, då kan densiteten på materialet ökas. Packning innebär att materialet ska få ut den luft som finns i för att få låg resistivitet. Fukt innebär att vatten ska vara runt om kornen för att leda bort värme vilket i sin tur bli en minskning av resistivitet. Vilket betyder att fuktinnehåll i materialet har en stor betydelse för volym som upptar vid packning (Burström, P.G. 2021).

Vatten

Det finns bara ett krav på vattnet som används vid tillverkning av betong, om den är drickbart kan den användas, annars kan det föra med sig risk som försämring av beständighet, hållfasthet eller bindningstid av betongen (Burström 2021).

Cement

Cement är en viktig del i betong som blandas med vatten och fungerar som ett bindemedel. Tillverkningen av cement är en process av 3 steg. Första steget av processen är att erhålla cementets huvudråvara som är kalksten, som fås ofta ur berggrunden genom sprängning. Andra steget som är transporten av råmaterialet. Sista steget av processen är att tillverka cement, detta steg görs genom att krossa och sortera stenen efter kornstorlek då blir allt i rättstorlek och rätt plats. Efter detta mals den i olika typer av kvarnar för att få fram mjölet. Slutningen så bränns den för att få färdiga cementet (Burström 2021). Enligt svensk standard "SS-EN 197-1" som är specifikation egenskap hos olika cementtyper samt de proportioner som skall kombineras för att få olika typer och klasser. Denna standard specificerar även krav på mekaniska, kemiska och fysikaliska egenskaper. I Sverige delas cement i fem olika huvudtyper. Där de tre viktigaste cementtyper är:

- CEM I Portlandcement
- CEM II Sammansatta Portlandcement
- CEM III Slaggcement

Byggcement CEM I är ett portlandcement innehåll 5 % kalksten som kan delas i fyra användningar området. Den första är snabbt hårdnade portlandcement (SH) som används till exempel i betongindustri. Den är snabb att formera och får hög hållfasthet ca 50 % högre än standardcement efter ett dygn. Andra är anläggningscement som långsam cement för värmeutveckling, vilket är fördelaktigt för grova konstruktioner. Eftersom den kan minska risker för betongskador. Tredje är vitt portlandcement med vanlig egenskap som normalt portlandcement. Den vitafärgen kommer från råmaterial som har låg innehåll som järnoxid (Fe_2O_3), ren krita (CaCO_3), ren sand och kaolinlera. Vitacementen används i till exempel ljusa fasadelement eller infärgade betongprodukter. Den sista är färgcement som är blandning mellan vitcement och 2–10 % alkaliresistent pigment av metalloxider mals tillsammans (Burström 2021).

2.3 Framställning av återvunnen betong

Återvunnen betong som ballast

Crushed concrete aggregates (CCA) är krossande betong som kan återvunnen ska användas till en ny ballast. CCA består av cementpasta och sten (ballast). Cementpasta omger ballastkornet en hög porositet, på grund av vattenabsorption som bidrar till lägre total densitet jämfört med ett ballastkorn från jungfrulig ballast. Den totala densiteten av CCA kan variera beroende av densiteten hos ursprunglig betongens tillsatsmedel, vct-tal och kvaliteten på betong. Högabsorberande ballast kan försämra betongens bearbetbarhet, vilket kan kompenseras genom att ballasten blötläggs före gjutning. Eftersom den lägre fraktionen innehåller en större andel cementpasta än den grövre fraktionen. Den höga porositeten hos CCA med cementpasta kan leda till högre vattenabsorption av ballasten. Betong som tillverkas med en andel av CCA som ballast har egenskaper relaterade till cementpasta från den ursprungliga betongen. Det gör att betongens egenskaper variera mycket. Om till exempel ursprunglig betong är tillverkad med en luftporbildande tillsatsmedel, betyder det att betongen som tillverkad med en andel CCA kommer att ha bättre frostbeständighet. Betong som tillverkad med CCA har lägre tryckhållfasthet än betong som tillverkad med jungfrulig ballast (Sadagopan 2021). Cementtypen påverkar resistiviteten vilket är en viktig faktor i återvunnen betong, detta medger

att olika cementtyper kan uppge olika resistivitetvärde vilket påverkar materialet som kabelsand (Yannick et al. 2022).

Mekanisk bearbetning (MP)

Det finns en metod som görs för CCA som kallas mekanisk bearbetning för att ta bort cementpastan som är omsluten till ballastkornen. Detta görs för att ballasten ska förbättra sin egenskap. Eftersom CCA har sin ursprungliga egenskap från cementpasta, vilket gör att det kan reducera egenskapen med hjälp av mekanisk bearbetning. På detta sätt kan ge effekt på arbetsbarhet till CCA, på grund av rundare form ger hållfasthet jämfört med CCA utan bearbetning (Sadagopan 2021).

Karbonatisering

Karbonatisering är ett kemiskt angrepp där luftens koldioxid (CO_2) angriper betongen. Där koldioxid tar sig in i betongen genom att diffundera och reagerar med kalciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{CO})_2 \Rightarrow \text{kalksten (CaO)}$). Desto lägre vatten i betongen desto mer täthet i betongen och mindre hastighet på karbonatisering. Denna process görs för att betongen ska få bort vattnet som finns i kornen. Betongen kommer att sänka sin pH-värde < 9 , från den ursprungliga betong som har sin pH-värde > 12.5 . Låg pH-värde kan leda till korrosion. Eftersom låg pH-värde kan göra att armeringsstålen börjar rosta (Burstrom 2021).

Vattenabsorption

Vattenabsorption är en metod som görs för att ta reda på hur mycket vatten kan ett material ha efter att kornen är vattenmättad. Genom att använda pyknometermetoden som baserad på standard (SS-EN 1097-6) för att få den vattenmättade massan (Saturated Surface Dry). I samband mellan torrmaterialets och vattenmättadmaterial kan vidare beräknas fram vattenabsorption enligt ekvation 1 (Sadagopan 2019).

$$\text{Vatten absorption} = \frac{m_{ssd} - m_0}{m_0} \quad (1)$$

Där m_0 är torrt massan och m_{ssd} är vattenmättad massan (Saturated Surface Dry).

Fuktkvot

Fuktkvot anger hur mycket fukt har lagrats i materialet. Eftersom varje material har olika absorption förmåga, vilket innebär att alla material har olika mättnadstillstånd då i sin tur har de olika fuktkvoter tills den kommer till den nivån där vattenmättads tillståndet är. Ekvation 2 mäts som kg vatten per kg material och uttrycks vanligt i procent (Burstrom 2021).

$$\text{Fuktkvot} = \frac{m_w}{m_0} \quad (2)$$

Där m_0 är torrt massan och m_w är förångningsbara vattnets vikt.

3 INTERVJUUNDERSÖKNING

Undersökningen bestod av en kombination av kvalitativa samt kvantitativa sätt. Kvalitativt användes vid intervjuerna där vi söker allmänna data samt kunskap av ämnet. Intervjufrågor fungerar som ett samtal mellan representanter från anläggningsbranschen och studenter, för att få en bild över arbetet och få information om materialkrav för kabelsand. Intervjun har spelats in och textats in i intervjuguiden, korrespondenterna är anonyma för att de ska känna sig mer bekväma samt mer formellt för oss på arbetet. Valt av korrespondenterna har genomtänkt för att sprida information från olika aktör inom området. De som var aktiva är forskare som ger kunskap och råd inom ballast framställning, sakkunnig ger teknik och möjlighet, inköpare ger standard och krav till produkten. Korrespondenterna svar sammanställs i resultat delen. Svars lista kommer att presenteras detaljerad i bilagor under intervjuguiden. Intervjufrågorna som användes under arbetet bygger på resurshantering samt praktisk hantering av material och användning. Här nedan är exempel på några intervjufrågor.

1. Finns det någon standard för kabelsand vilket ger krav/påstående?
2. Vad är fuktkvoten som används nu för att förbereda marken?
3. Finns det specifikt krav på återvunnen betong jämfört med natursand?
4. Hur utgörs packning på fält?
5. Kan en kabelsand bli godkänd utan testning av resistivitet? I vilken situation/ material?
6. Kan man använda utgrävt sand som ledningsbädd utan testning av resistivitet?

Angreppsättet utifrån hållbarhet och resurshantering styrde intervjun, på så sätt att det var många frågor om resistivitet och krav för materialet specifikation.

4 EXPERIMENTELL STUDIE

Kvantitativa sättet handlade om experimentella studier. Rapporten samlade in information från vetenskapsartiklar enligt extern handledare samt Diva HB, med nyckelord kabelsand, betong och återvunnenbetong. Eftersom det råder brist på litteratur och endast ett fåtal liknande experiment har utförts i detta arbete, är undersökningen baserad på utländsk litteratur samt relevant litteratur från böcker som rör ämnet. Experimentets schema bestod av olika tester beroende på behandlingstypen och därefter gjordes testerna efter varandra enligt tabell 2, tabellen visar hur fukten varierades samt fraktionen och detta beror på behandlingen. Mätningen skedde i mellan 90 – 120 sekunder.

Tabell 2 visar experimentellt schema för materialen med olika behandlingar.

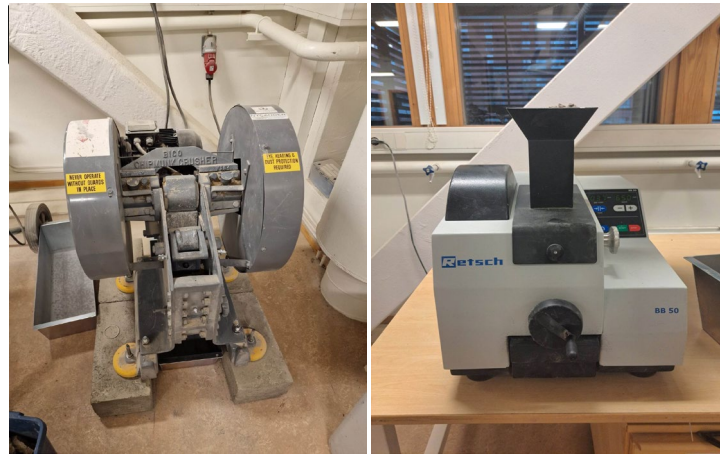
Material	Behandling
Sand	0/4 mm med 2 % fuktkvot
Bergkross	0/2 mm med 2 % fuktkvot
	0/4 mm med 2 % fuktkvot
CCA	0/4 mm med 2 % fuktkvot
	0/4 + 0/0,5 mm med 2 % fuktkvot
	0/4 + 0/0,5 mm med 5,75 % fuktkvot -V
	0/4 + 0/0,5 mm med 7 % fuktkvot -V
MPCCA	0/4 mm med 2 % fuktkvot
	0/4 + 0/0,5 mm med 2 % fuktkvot
	0/4 + 0/0,5 mm med 6,7 % fuktkvot -V
CCACO2	0/4 mm med 2 % fuktkvot
	0/4 + 0/0,5 mm med 2 % fuktkvot
	0/4 + 0/0,5 mm med 5,5 % fuktkvot -V
	0/4 + 0/0,5 mm med 7,5 % fuktkvot -V
	0/4 + 0/0,5 mm med 8,5 % fuktkvot -V

-V är en förkortning som står för ballastens vattenabsorption.

4.1 Ballast framställning

Krossning

Betongavfallet från HEDA:s fabrik kommer med olika fraktioner från stora klumpar sten till små och damm. Experimentet började med att krossa betongballasten till en fraktion som är 0/4 mm, för att kunna jämföra därefter med olika material. Krossningen av återvunnen betong CCA skedde på laboratoriet på Högskolan i Borås med hjälp av krossmaskin enligt figur 2. Maskinen består av en rörlig krossplatta som är driven av direkt el eller dieselmotor, som jobbar för en fastsittande platta för att krossa bergmaterialet (Johansson, 2011). Handtaget eller gapet som finns på sidan används för att bestämma en viss fraktion. Efter krossningen siktades materialet med en 4 mm sikt enligt figur 3.



Figur 2 1.Käftkross stor 2.Käftkross till finfraktioner



Figur 3 Siktning av 0/4 CCA

Siktning

I denna studie framställdes 5 siktkurvor, två för CCA på 0/4 och 0/0,5 mm, ett för natursand på 0/4 och två för bergkross på 0/4 samt 0/2 mm. Vid den genomförande av siktningen användes siktar som täcker alla fraktioner upp till 16 mm. På genomförandet utnyttjades fraktion 0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 5,6 mm, 8 mm, 11,2 mm och 16 mm. Inför siktningen av materialen siktapparaten enligt figur 4. Under siktningen vägdes 0,5 kg av varje material som sedan hälldes i sikten och vibrerades. Undersökningen bearbetades på 8 min med amplituden på 10. Efter sikten vägdes materialen av varje fraktion och framställde siktkurvan i Excel-programmet.

4.2 Ballastegenskaper

Partikelgradering

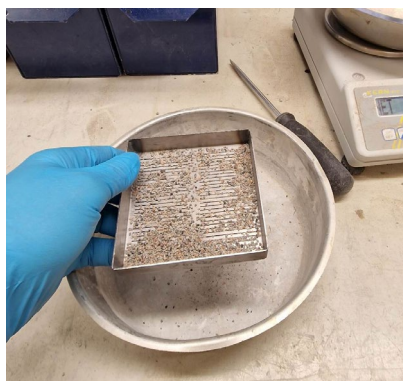
Genom att partikelgradera materialet innebär att CCA har alla fraktioner i ett material vilket skapar mer täthet. Därför blandades CCA 0/4 + 0/0,5 för att få bättre täthet på CCA, materialet packades för att minska hålrummen som i sin tur minskar resistiviteten.



Figur 4 Siktapparat

Flisighet

Efter siktningen av CCA 0/4 bestämdes kornformen av CCA med hjälp av en spaltsikt enligt figur 5 som bestämmer hur flisigheten förhåller sig till kornens form, med de olika fraktioner på spaltsiktet. Där 4 mm användes spaltfraktion på 2 mm, 3,15 mm på 1,6 mm, 2,5 mm på 1,25 mm, 2 mm på 1 mm, 1,6 mm på 0,8 mm och 1,25 mm på 0,63 mm. När CCA lade i spaltsiktet, sedan skakades spaltsiktet och kornen rördes om med handen. Detta gjordes för att kornen ska kunna passera genom spaltöppningarna. Därefter ska mängden som var passerad genom spaltsikten vägs och dokumenteras i Excel.



Figur 5 Flisighet på CCA

4.3 Bearbetning av ballast

Mekaniskbearbetning (MP)

Efter att CCA har krossat till 0/4 fraktion, en av de metoder som ska användas är mekaniskbearbetning. Användningen av metoden börjades med att lägga en tredje del av CCA i hinken enligt figur 6. Maskinen enligt figur 6 ska ha en frekvens på 50 U/min och tiden för bearbetningen ska vara i 15 minuter. Observeras att maskinen kan bara bearbeta i 10 minuter. Vilket gör att maskinen behöver startas om på 5 minuter för att den ska komma till den nivå som är 15 minuters bearbetning. Efter 15 minuters bearbetning ska den mekaniskbearbetade CCA siktas och sedan görs en mätning på resistiviteten.



Figur 6 Mekanisk bearbetning av CCA.

Mekaniskbearbetad och tvättad CCA

Efter att materialet har mekaniskbearbetat, ska CCA tvättas med vatten. Detta görs genom att lägga CCA in i ett skal och röra CCA runt med handen medan kranvatten rinner ner på skalen, för att få bort cementpastan. Efter cementpastan har tagits bort från CCA, ska den tvättade CCA torkas med torkmaskin enligt figur 7. Efter detta görs en resistivitetmätning för det nya materialet.



Figur 7 Tvättning och torkning av CCA.

Karbonatisering

Karbonatisering är en metod som görs för att ta bort bunden vatten från CCA, vilket gör att CCA molekylerna frigörs de vatten bundna molekyler som finns vilket i sin tur ändrar egenskaperna hos CCA. En form av destillerat vatten måste läggas i maskinen där togs ungefär 0,5 liter och lades i en form längst ner i maskinen, för att skapa relativ fuktighet runt om i skåpet. Efter att materialet har blivit placerad på brickorna så öppnades gas kolven. CO₂ gasen hålls i maskinen i ungefär 4–6 timmar enligt figur 8, efter karbonatisering är CCA redo för resistivitetmätning.



Figur 8 Karbonatisering av CCA, till vänster är koldioxid gas som är kopplad till koldioxid tillsättningsmaskinen. På skåpet där läggs vatten på botten och CCA ovanpå.

4.4 Resistivitet testning

Fuktkvot

Ballast fraktion torkades i ugnen under 105 C till konstantvikt för att materialet ska komma ner till ugnens torra tillstånd. Därefter vägdes materialet och vatten tillsattes för att komma fram till den önskade fuktkvoten. I detta fall var 2 % fuktkvot som skulle tillsättas i materialet, vilket gör att material blir fuktig enligt figur 9. Vattenmängden som ska tillsättas beräknas genom formel:

$$m_{\text{vatten}} = m_0 + (m_0 * 2 \%) \text{ (g)}.$$



Figur 9 1. Hällning av vatten till önskad fuktkvot, 2.materialvägning

Kompaktering

Först vägdes cylinderstålet, sedan lades det fuktiga materialet i cylinderstålet ungefär en tredje del av cylinderstålets volym och sedan slogs materialet med 4 slag med slagkomprimators enligt figur 10. Efteråt lades mer fuktigt material tills det blev fullt på cylinderstålet och slogs den igen med 4 slag i slagkomprimators. Efter att ytan på stålcyllinder blev kompakt och platt mättes längden som var kvar efter slagningen från materialet upp till kanten.



Figur 10 Slagkomprimators

Resistivitet mätning

Resistivitetmätaren enligt figur 11 togs fram. Därefter ställdes namnet på provning samt datum in. Nålgivaren lades i testcyllindern för att den ska neutralisera sig med omgivningen och ge ett värde där den liknar ett värde som given från fabrik, sedan lades in fuktigt material som i figur 12 och startades mätningen. Observera ifall om resistivitetmättningspinne inte går igenom materialet så kan borring behövas för att pinnen inte ska skadas. Efter mätning är klar, laddades mätdata upp till datorn som Excel.



Figur 11 Resistivitet mätare.



Figur 12 Resistivitet mätning

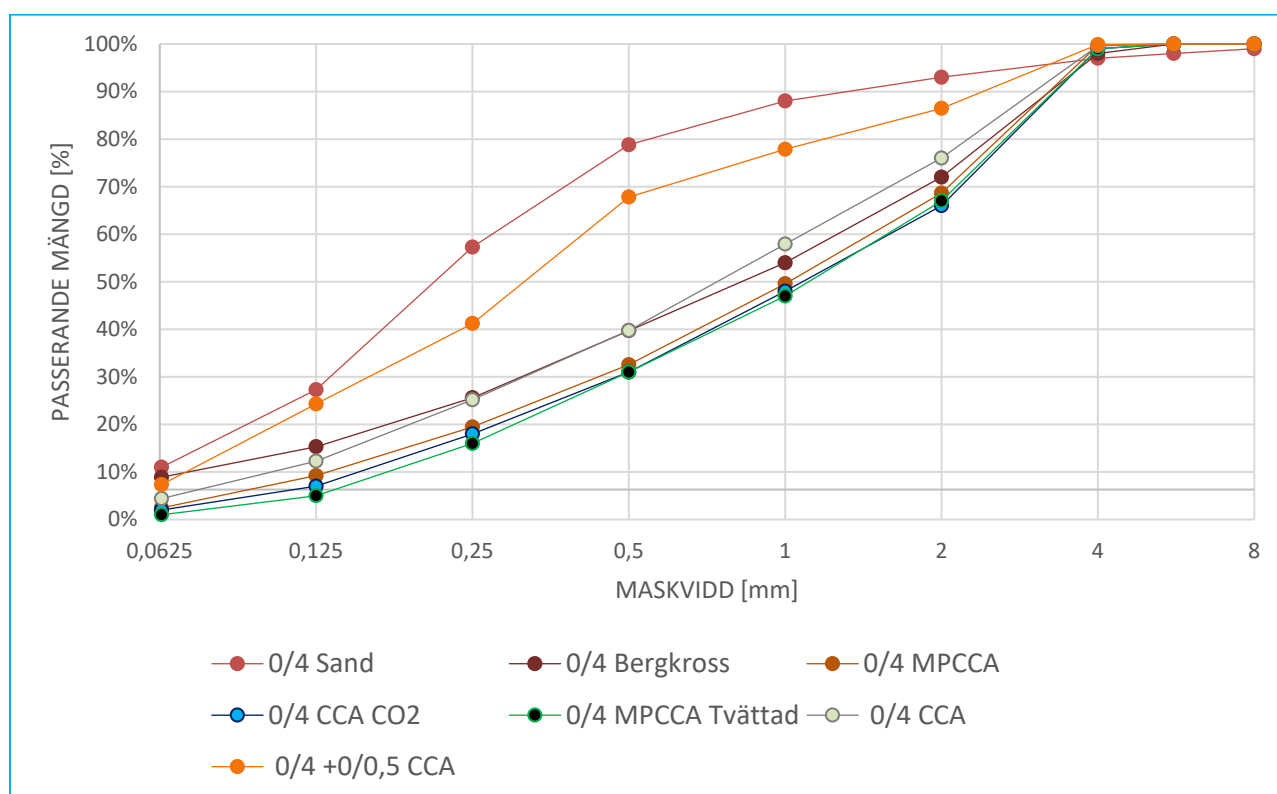
Torkning

Efter resistivitetmätningen är klar, togs materialet och lades i ett torrskåp för att få bort fukten som finns i materialet. Efter att materialet har blivit torr på ungefär 2 timmar i torrskåpet, vägdes materialets torra vikt och dokumenterades i datorn.

5 RESULTAT

5.1 Resultatet från experimentell studie

Resultatet av experimentet visar i tabell 3 att resistivetsvärdet för sand med 2 % fuktkvot och 90 sekunder mätning har sanden 1 mK/W som är det lägsta och referensvärdet. CCA med 2 % fuktkvot utan behandling var 5,7 mK/W, samt CCA med behandling båda karbonatisering och mekaniskbearbetning ligger den på 4,2 mK/W. Siktcurvor för ballasten som är behandlade med olika metoder för olika material redovisas i figur 13. Siktcurvan för CCA 0/4 visar att den har kommit upp mellan sand och ungefär som bergkross.



Figur 13 Siktning på sand, bergkross och CCA med olika behandlingar.

5.2 Resultatet från intervjuundersökning

Resultatet av intervjun visar att partikelfördelningen var avgörande för termisk resistivetsvärdena, ju tätare packningen är desto mindre hålrum mellan partiklarna. Eftersom hålrummen är fyllt med luft vilket har högre resistivitet. Till slut får man högre resistivitet på en CCA. Därför blandades fraktionen med mer finmaterial, för att minska hålrumshalten i materialet samt öka tiden på mätningen till 120 sekunder. Respondenterna har nämnt att om ballasten har vassare korn, då är max ballasten storlek begränsad till 4 mm annars får man använda 8 mm som största kornstorlek. Detta görs för att kabelsanden inte ska skada kabeln. Detta togs hänsyn till i undersökningen genom att testa flisighetsindex på CCA fraktionerna. Enligt respondenterna så finns det krav på resistivitet för kabelsand.

CCA med partikelgradering som ligger på 50 % mellan 0/4 mm och med 0/0,5 mm samt ökad matningstid till 120 sekunder. Resultat efter blandningen visar att CCA minskat ner till 3,6 mK/W och med mekaniskbearbetning har den minskat till 3,4 mK/W se tabell 3. Blandningen av CCA 0/4 + 0/0,5 visar hur siktkurvan för den har ökat i figur 13, då i sin tur har den kommit upp mellan sand och bergkross.

Med kompenserat vattenabsorption har CCA-V minskat ännu mer till 1,6 mK/W se tabell 3, vilket är samma som bergkrossens resistivitetsvärde med fraktion 0/4 mm. CCA CO₂ av fraktion 0/4+0/0,5 mm med 8,5 % fuktkvot har lägsta resistivitetsvärdet jämförs med andra CCA material som är behandlade, där ligger resistiviteten på 1,2 mK/W. Högsta resistivitetsvärdet är 5,7 mK/W för CCA som är inte behandlat på något sätt.

Tabell 3 Resultatet resistivitetmätningar med olika behandlingar.

Parametrar				Mättningsresultat	
Material	Fraktion [mm]	Testningstid [s]	Fuktkvot [%]	Densitet [g/cm ³]	Resistivitet [mK/W]
Sand	0/4	90	2	1,744	1
Bergkross	0/2	90	2	1,714	1,5
Bergkross	0/4	90	2	1,753	1,6
CCA	0/4	90	2	1,529	5,7
CCA	0/4+ 0/0,5	120	2	1,544	3,6
CCA-V	0/4	120	5,75	1,521	1,8
CCA-V	0/4+ 0/0,5	120	7	1,411	1,6
MPCCA	0/4	90	2	1,594	4,2
MPCCA	0/4+0/0,5	120	2	1,597	3,4
MPCCA-V	0/4+0/0,5	120	6,7	1,427	1,5
CCA CO ₂	0/4	90	2	1,587	4,2
CCA CO ₂ -V	0/4	120	5,5	1,470	1,5
CCA CO ₂ -V	0/4+ 0/0,5	120	6,5	1,497	1,5
CCA CO ₂ -V	0/4+ 0/0,5	120	7,5	1,497	1,3
CCA CO ₂ -V	0/4+ 0/0,5	120	8,5	1,582	1,2

-V är en förkortning som står för ballastens vattenabsorption.

6 DISKUSSION

Resultatet av resistivitetstestning visar att CCA CO₂ med blandning av 0/4 + 0/0,5 mm CCA och 8,5 % fuktkvot har en materialresistivitet på ungefär 1,2 mK/W, samt med 6,5 % fuktkvot hade den 1,5 mK/W som liknar bergkross vilket används som kabelsand. Resultatet kan bero på att CCA med blandning har mer fina fraktioner som gör att den kompakteras och blir tätare som sand vilket har resistivitet på 1 mK/W. Om man jämför vanligt CCA 0/4 som har mycket högt resistivitetsvärde på 5,7 mK/W utan behandling med sand så visar den hur stor hålrumshalt som finns och hur materialet reagerar med fuktkvoten. Den mekanisk bearbetade och karboniserade CCA hade 1,5 mK/W med kompensering av vattenabsorption vilket då fick man 1,5 mK/W som liknar bergkross. Fuktkvoten har varit en faktor med resistivitetmätningen, desto mer fuktkvot i ett material desto lägre resistivitetsvärde har det. Detta kan tolkas som att när hålrummen i materialet fylls med vatten, då stängs hålrummen och resistiviteten minskar kraftigt beroende på hålrumshalten som finns i materialet. Detta gör att resultatet på CCA med behandling har kommit till samma resistivitetsnivå som bergkross. Även om man får samma resistivitet som bergkross så betyder det inte att man använder den som kabelsand, eftersom det finns andra egenskaper som behöver undersökas.

7 SLUTSATS

CCA kommer att kunna användas som kabelsand om åtgärder tas hänsyn till. Den bästa åtgärden är att använda alternativen som är blandningen av CCA med grovt material samt fint material som kompenserar med ballasten vattenabsorption. Detta kan ge ett bättre resultat på resistiviteten, eftersom en låg resistivitet ger bättre värmeledningsförmåga. Undersökningen av resistivitetstestning på CCA har visat att materialets resistivitetsvärde är likvärdigt med bergkross. Detta resultat baseras på en laboratorieundersökning, men det utesluter inte att återvunnen betong kan användas som kabelsand i praktiken.

Förslag på framtida studier

För framtiden skulle experimentet testas på en nyare apparat där den kan ha 180 sekunder, vilket kommer det visa bättre resultat. Samt ökas fuktkvoten för att få en minskning av resistivitet. Partikelgradera mer än 50 % av fin material för att stänga hålrum, vilket i sin tur ge en minskning av resistivitet.

REFERENSER

- Bood, P. & Götz, S. (2020). *Fyllning kring kablar och rör med krossat bergmaterial*. Kandidatuppsats, Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser, Luleå tekniska universitet. <https://ltu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1604104&dswid=-3475>
- Boverket (2023). *Bygg- och fastighetssektorns uppkomna mängder av avfall*. [https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/avfall/ \(2023-02-28\)](https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/avfall/(2023-02-28)).
- Burström, P.G. (2021). *Byggmaterial*. Studentlitteratur.
- IEC 60287-3-1. *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 3-1: Operating conditions – Site reference conditions*. Svenska institutet för standarder (SIS) Förlag AB, 2017
- Naturvårdsverket (2022), *Bygg- och rivningsavfall 2022*, Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/globalassets/amnen/avfall/statistikblad-bygg-och-rivningsavfall.pdf>
- Sadagopan, M. (2021). *Recycling of concrete in new structural concrete*. Diss. Högskolan i Borås. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hb:diva-24594>
- SS-EN 197–1:2011. *Cement – del 1: Sammansättning och fordringar för ordinära cement*. Svenska institutet för standarder (SIS) Förlag AB, 2011.
- SS-EN 933–1:2012. *Ballast - Geometriska egenskaper - Del 1: Bestämning av kornstorleksfördelning – Siktning*. Svenska institutet för standarder (SIS) Förlag AB, 2012
- SS-EN 933–3:2012. *Ballast - Geometriska egenskaper - Del 3: Bestämning av kornform - Flisighetsindex*. Svenska institutet för standarder (SIS) Förlag AB, 2012
- SS-EN 1097–6:2022. *Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper - Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption*. Svenska institutet för standarder (SIS) Förlag AB, 2022
- Svensk betong (2018). *Betonginitiativet färdplan för klimatneutral betong*. https://cms.betongarhallbart.se/wp-content/uploads/2018/11/ffs_betongbranschen.pdf
- Sveriges geologiska undersökning (SGU) (2006). *Att använda krossat berg: Ledningsbädd och kringfyllnad*.
- Sveriges geologiska undersökning (SGU) (2021). *Statistik för grus, sand och krossberg 2020*.
- Vatten och samhällsteknik (2021). *Ludvika kommun - Ledning 2, Grängesberg-Ludvika*. https://www.ludvika.se/download/18.46925ba317b47377af444c7b/1629876313226/Bilaga_K_46_PM_Utv%C3%A4rdering_NCC%20bilaga_S41%20210815.pdf

Yannick, C.H., Hardy, Y. K., Xinping, H., Liang, N.W., Sharlene, T., Taeseo, K. & Fook, H.L. (2022). An approach for characterising electrical conductivity of cement-admixed clays. *Soild and Foundation*, 62(2). doi.org/10.1016/j.sandf.2022.101127

Yeo, K. (2011). *Korea Electric Power Research Institute establishes standard for use considering the thermal property of recycled aggregate for refilling underground wiring pipe*. Electimes.
<https://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=88957>

BILAGA INTERVJUGUIDE

Vi presenterar oss:

- Namn, Vilken skolan vi gå på och vilket program vi läser.
- Syfte med examenarbetet
- Frågar om det är okej att spela in samtalet

Frågor om Kabelsand

- Finns något standard för kabelsand?
- Finns något praktiska krav för kabel enligt din erfarenhet?
- Vet du vilken fuktkvot som använder till kabelsand?
- Är detta beroende på material?
- Har packningen eller partikelfördelning spelar roll för kabelsand?
- Finns något specifika på natursand jämför andra material?
- Är flisighet problem för kabelsand?
- Hur utgörs packningen på fält?
- Kan en kabelsand bli godkänt utan testning av resistivitet? I vilken situation /material?
- Kan man använda utgrävt sand som ledningsbädd? Vilket med åtanke man har inte testat dess resistivitet?
- Har du i din verksamhet resurser för sortering, lagring, krossning av betong och återvinning/returhantering?
- Producerar ditt företag produkten kabelsand?
- Vad har ni för sortering(fraktion) på denna ballast?
- Har ni deklarerat termisk resistivitets värde för alla kabelsand produkter som ni producerat?
- Vilka miljömässiga fördelar ser du med att använda återvunnen restbetong i stället för kabelsand vi nybyggnation/ombyggnation
- Vilka ekonomiska fördelar ser du med att använda återvunnen restbetong i stället för kabelsand vi nybyggnation/ombyggnation
- Vilka sociala fördelar ser du med att använda återvunnen restbetong i stället för kabelsand vi nybyggnation/ombyggnation

Respondenterna svar

L1: Forskare inom termisk resistivitet av byggmaterial

L2: Sakkunnig vid anläggningsmaterial och arbete

L3: Person som arbetar in en anläggnings laboratorium

L4: Inköpare från företag

L5: Leverantör företag

- Finns det någon standard för kabelsand?
 - L1: berättar att det finns krav hos kabel tillverkaren
 - L2: berättar att ja det finns på AMA (Allmänna material och arbetsbeskrivning) eller tekniska beskrivningen som följer med kontrakt.
 - L3: berättar nej men det finns hos kabel tillverkaren.

- Vet du vilken fuktkvot som används till kabelsand?
L1: Nej, men det finns i standarden.
L2: Ja, normalt beroende på hur material har lagat (2–3 %)
L3: Nej, vet inte. Men materialen vi får in testas vi mellan (2–8 %)
- Är detta beroende på material?
L1: JA
L2: JA! hur mycket vatten finns i material.
L3: Ja!
- Spelar packningen eller partikelfördelning stor roll för kabelsand?
L1: Definitivt ja, det beror på densitet, desto högre densitet desto mindre resistivitet.
L2: Ja, ju 0/2 är ju kortare än 0/8, desto mer kortare korn kurva ju högre hålrumhalt. Många små stenar bildas mindre hålrum än de stora.
L3: ja det gör absolut.
- Finns något specifika krav på natursand jämför andra material?
L1: Nej, jag tror inte, titta på standard och myndighet har inte kontroll på det.
L2: Nej, det upp till beställare. Man får titta i AMA.
L3: Ja man får kolla i AMA. Där står det att det ska vara runda korn och är upp till 8 mm. Kantiga korn får vara upp till 4 mm som bergkross.
- Är flisighet problem för kabelsand?
L1 Särskilt, ja. För att få ner nålen.
L2: Man tittar inte på flisighet, när kornen är mindre en viss storlek, alltså mindre än 4 mm så tittar man inte flisighet.
L3: Vet inte men om det blir svårt packat så kan det finns hålrum.
- Hur utgörs packningen på fält?
L1: Vet ej
L2: Djupare rörgraven är, desto sämre packa man, Man packa med padda eller bilpadda. Det beror på hur stort skikt är.
L3: Vet inte men tror med bilpadda
- Kan en kabelsand bli godkänt utan testning av resistivitet? I vilken situation /material?
L1: Det finns inga krav i standard, det finns vissa kablar där resistivitet måste testas på plats.
L2: Ja för vissa kablar behöver man inte tänka på konduktivitet.
L3: Ja för vanliga kabel gravar men låg belastning.
- Kan man använda utgrävt sand som ledningsbädd? Vilket med åtanke man har inte testat dess resistivitet?
L1: I Teorin nej, i praktiskt ja
L2: Ja man kan använda utan att tänka på resistivitet.
L3: Det beror på plats och bygge därefter ser man om det behövs resistivitetmätning

- Har du i din verksamhet resurser för sortering, lagring, krossning av betong och återvinning/returhantering?
 - L4: Ja, vi har 20–40 % krossning av betong
 - L5: Ja, vi har 40–60 % krossning av betong
- Producerar ditt företag produkten kabelsand?
 - L4: Ja det gör vi
 - L5: Ja
- Vad har ni för sortering(fraktion) på denna ballast?
 - L4: 0/8 mm.
 - L5: 0/4 mm.
- Har ni deklarerat termisk resistivitets värde för alla kabelsand produkter som ni producerat?
 - L4: Ja, vi brukar deklarerat på alla material vi har.
 - L5: Nej.
- Vilka miljömässiga fördelar ser du med att använda återvunnen restbetong i stället för kabelsand vi nybyggnation/ombyggnation?
 - L4: Vet inte.
 - L5: Kasserat/restmaterial omvandlas till nya produkter eller andra användningsområde.
- Vilka ekonomiska fördelar ser du med att använda återvunnen restbetong i stället för kabelsand vi nybyggnation/ombyggnation?
 - L4: Vet inte.
 - L5: Ökade intäkter relaterad till klimatförbättrade produkter.
- Vilka sociala fördelar ser du med att använda återvunnen restbetong i stället för kabelsand vi nybyggnation/ombyggnation?
 - L4: Vet inte
 - L5: Öka kompetensen inom återvinning.



HÖGSKOLAN I BORÅS

Besöksadress: Allégatan 1 · Postadress: 501 90 Borås · Tfn: 033-435 40 00 · E-post: registrator@hb.se · Webb: www.hb.se