

STENMJÖLS KORROSIVITET

RAPPORT 2017:431



UNDERHÅLL AV ELNÄT



Stenmjöls korrosivitet

Litteraturstudie

CARL-JOHAN HÖGBERG, JONAS ENGBLOM

ISBN 978-91-7673-431-5 | © Energiforsk september 2017

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Rapporten är ett resultat av Programmet för underhåll av elnät 2015-2020. Syftet är att i programmet tillsammans identifiera och formulera de problem som finns inom underhållsområdet, där företagsanpassade lösningar inte är ekonomiskt försvarbara, utan gemensamma lösningar eftersöks. I programmet upphandlas sedan genomförandet av projektet hos de kompetenser som är identifierade som bäst inom området. Programmet ska också kunna ta beslut om att produktifiera innovativa idéer inom intresseområdet vid de tillfällen när vilja och förutsättningar finns hos programkunderna. Kopplingen till InnoEnergy finns framtagen för detta ändamål. Ett annat sätt är att söka implementering via EBR-ar-betet inom Energiföretagen Sverige. Visionen är att resultaten från programmet ska ge ett bättre tekniskt och finansiellt beslutsunderlag för val mellan olika satsningar i elnätet i syfte att upprätthålla eller höja dess prestanda. Idéproduktionen initieras främst från de problem och uppkomna behov som finns hos elnätsföretagen.

De finansierande företagen i ramprogrammet är följande:

Svenska kraftnät	Falu Energi&Vatten AB
Vattenfall Eldistribution AB	Eskilstuna Energi & Miljö AB
Ellevio AB	Karlstads El- och Stadsnät AB
ABB AB	Borås Elnät AB
Göteborgs Energi AB	Luleå Energi Elnät AB
Energiföretagen Sverige	Kraftringen AB
Elinorr Ek. För.	Nacka Energi AB
Skellefteå Kraft Elnät AB	C4 Elnät AB
Jämtkraft Elnät AB	Pite Energi AB
Umeå Energi Elnät AB	Mälarenergi Elnät AB
Jönköping Energi Nät AB	Kungälv Energi AB
Tekniska verken Linköping Nät AB	Bodens Energi Nät AB
Öresundskraft AB	E.ON Elnät Sverige AB

Programmets styrgrupp år 2017 av består följande personer:

Mats-Erik Jansson, Jämtkraft Elnät AB, ordförande
 Christian Cleber, Tekniska verken Linköping Nät AB, vice ordförande
 Ola Ivarsson, E.ON Elnät Sverige AB
 Kenneth Stefansson, Vattenfall Eldistribution AB
 Magnus Lommerdal, Ellevio AB
 Robert Saers, ABB AB
 Christer Gruber, Energiföretagen Sverige
 Kristofer Andersson, Göteborgs Energi AB
 Reyna Lind, Elinorr Ek. För.
 Mats Javebrink, Jönköping Energi Nät AB
 Mats Råberg, Kraftringen AB
 Henrik Karlsson, Kungälv Energi AB
 Hans Lagergren, Svenska kraftnät
 Tobias Hannu, Bodens Energi Nät AB
 Anton Fagerström, Energiforsk, sekreterare

Sammanfattning

I denna litteraturstudie har stenmjöls korrosivitet undersökts och hur dess egenskaper kan kopplas till korrosion. Korrosion av koppar, förzinkat stål, aluzink och magnelis har också undersökts med avseende på hur korrosion kan påverkas vid förläggning i stenmjöl.

Stenmjöl är benämningen på de minsta fraktionerna från bergkross med kornstorlek från 0 mm. Tidigare har stenmjölet inte använts kommersiellt i någon större utsträckning utan har varit en restprodukt från tillverkningen av krossprodukter med en större kornstorlek. Användandet började för cirka 15 år sedan som fyllnadsmaterial för att ersätta till exempel natursand.

Frågan kring stenmjöls korrosivitet uppmärksammades då Affärsverken i Karskrona upptäckte korrosion på material förlagda i stenmjöl endast några år efter byggnation.

Eftersom stenmjöl är ett krossat material är kornen kantigare än natursand. I och med att stenmjöl har liten kornstorlek så har det goda packegenskaper och ger ett relativt tätt material. Detta ger möjlighet för luftningsceller att uppstå då material är förlagt i stenmjöl. En liten kornstorlek ger också god kapillärförmåga vilket betyder att stenmjöl har hög förmåga att hålla vatten.

Sveriges berggrund består till stor del av sura bergarter som gnejs och granit vilka innehåller höga halter kiseloxider. Om bergarten innehåller salter förmodas det att dessa relativt lätt lakas ur eftersom stenmjölets små korn ger en stor exponerad gränsyta i kontakt med omgivande kapillärt vatten. Lösta salter i jordar sänker resistiviteten och ökar därmed korrosiviteten.

Slutsatsen från litteraturstudien är att uppgifter om stenmjöls korrosivitet i litteraturen är mycket begränsad. Tvättat stenmjöl, där de minsta kornen avlägsnats, bör minska risken för luftningsceller och utlakning av salter.

Inga litteraturreferenser kring studier avseende korrosionshastigheter för koppar, förzinkat stål, aluzink eller magnelis i stenmjöl har påträffats. Som jämförelse kan nämnas att korrosionshastigheten för dessa material är låg i sandfyllning.

Summary

In this literature study the corrosivity of stone dust has been studied in terms of properties that can be related to corrosion. Corrosion of copper, galvanized steel, aluzinc, and magnelis has also been studied in respect to how it will be affected when immersed in stone dust.

Stone dust is the term for the smallest fractions, with particle size from 0 mm, when rocks are crushed. Earlier, stone dust has not been commercially used and has been considered as a waste product from the manufacturing of other crushed rock products with a larger particle size. The usage of stone dust started around 15 years ago as a filling material in order to replace natural sand for example.

The question concerning the corrosivity of stone dust received attention when Affärsverken in Karlskrona experienced corrosion on materials in stone dust only a few years after construction.

Because stone dust is a crushed material the particles are more edgy than in natural sands. Since it has a particle size from 0 mm it packs very well. This means that there is a possibility for aeration cells to be formed when materials are immersed in stone dust. A small particle size also means that the capillarity is good and that stone dust has a high ability to retain water.

The bedrock of Sweden consists mainly of acidic rocks like gneiss and granite which both have a high content of silicon oxides. If the rock contains salts it is assumed that these will be leached relatively easily due to the small particles of the stone flour, which give a large exposed area to the surrounding capillary water. Dissolved salts in soil lower the resistivity and thereby increase the corrosivity.

The conclusion from the literature study is that there are few references on the corrosivity of stone flour. Washed stone dust, where the smallest particles are removed, should reduce the risk of aeration cells and leaching of salts.

No references in the literature could be found for corrosion rates of copper, galvanized steel, aluzinc, or magnelis when exposed to stone dust. As a comparison, it can be mentioned that the corrosion rates for these materials are low when exposed in sand.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Syfte och mål	7
2	Allmänt om korrosion	8
2.1	Korrosion av jordtag	9
3	Stenmjöl	10
3.1	Tillverkning	10
3.2	Klassificering av stenmjöl som jordtyp	11
3.3	Resultat från analyser av stenmjöl i litteraturen	12
3.3.1	Undersökning av stenmjöls miljöpåverkan	12
3.3.2	Undersökning av stenmjöl som tillsats för jordförbättring	14
3.3.3	Stenmjöl internationellt	14
3.4	Bedömning av egenskaper för stenmjöls korrosivitet	14
3.4.1	Kapillär förmåga	14
3.4.2	Syrepermeabilitet	15
3.4.3	pH	15
3.4.4	Resistivitet	15
3.4.5	Mineralisk och kemisk sammansättning	16
4	Korrosion av ledningsmaterial	17
4.1	Koppar	17
4.2	Förzinkat stål	17
4.3	Magnelis	20
4.4	Alu-zink	20
5	Slutsatser	21
6	Fortsatt arbete	22
7	Litteraturförteckning	23

1 Inledning

Stenmjöl har historiskt sett varit en restprodukt som kommer från tillverkningen av grus, makadam och andra bergkrossprodukter. Stenmjöl förekommer således inte naturligt utan karaktäriseras just av att det är en restprodukt där stenmjöl är den lägsta fraktionen från tillverkning av bergkrossprodukter. På marknaden finns fraktioner med benämningen stenmjöl upp till 0/8, det vill säga att 75 % av kornen i en sådan fraktion ska ha diameter mindre än 8 mm. Den lägsta fraktion av stenmjöl som påträffats är 0/2.

Fram tills för cirka 15 år sedan användes inte stenmjöl i någon större utsträckning utan blev liggandes på upplag vid bergtäckerna. Ökade krav på återvinning och användning av material samt att tillgången på naturligt material har blivit sämre har lett till att intresset för att använda stenmjöl ökat. Man har det senaste decenniet hittat flera användningsområden för stenmjöl som fyllnadsmaterial, fyllnadsmaterial tillsammans med bentonitlera för att skapa tätskikt, eller för fyllning i fogar vid läggning av marksten och plattor (Berg, 2005). Det har även gjorts många studier och tester för att använda stenmjöl som fyllnadsmaterial i betong, framför allt internationellt, och till jordförbättring.

Då stenmjöl inte använts mer än det senaste decenniet är kunskapen om stenmjöl ur ett korrosionsperspektiv begränsad. Intresset för att undersöka stenmjöls korrosivitet har uppstått i och med att Affärsverken i Karlskrona uppmärksammat förhöjd korrosionshastighet på jordningslinor av koppar och plåt av alu-zink som är förlagda i stenmjöl. I denna litteraturstudie bedöms hur de vanligaste lednings- och konstruktionsmaterialen förväntas påverkas, ur ett korrosionsperspektiv, vid förläggning i stenmjöl.

1.1 SYFTE OCH MÅL

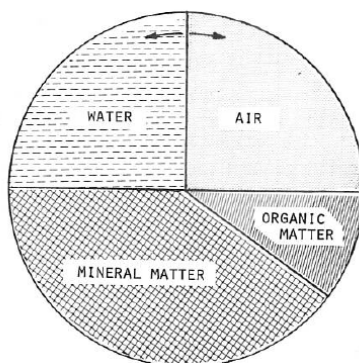
Syftet med litteraturstudien är att inventera vilka kunskaper och erfarenheter som finns idag gällande stenmjöls korrosivitet. Målet är att kunna ge rekommendationer kring förläggning i stenmjöl och/eller ge förslag på undersökningar för att klargöra eventuella kvarstående frågor, med fokus på korrosiv påverkan.

2 Allmänt om korrosion

För att en korrosionsprocess ska vara möjlig krävs anod, katod, elektrolyt och metallisk förbindelse mellan anod och katod. Upplösning av metall till metalljoner är en oxidation så det är vid anoden som metalliskt material förbrukas. Vid katoden sker reduktionsreaktioner. Både oxidation- och reduktionsreaktioner krävs för att skapa en korrosionscell. Anod- och katodytor uppkommer av olika anledning. För olika metaller i kontakt med varandra blir den enligt den elektrokemiska spänningsserien mindre ädla metallen anod och den mer ädla katod vilket kallas galvanisk korrosion. För jämn korrosion finns anod- och katodytor omväxlande över ytan vilket gör att hela ytan korroderar med samma hastighet. Anod- och katodytor kan uppstå på samma metall genom bildandet av luftningsceller. Dessa uppkommer då olika områden på materialet har olika god tillgång på syre. Det område som har dålig tillgång på syre blir anod och det område som har god tillgång på syre blir katod. Luftningsceller kan uppstå i jord där jorden är olika hårt packad eller har varierande kornstorlek. Luftningsceller med betydande korrosionshastighet kan uppstå för långsträckta konstruktioner som går genom olika jordtyper med olika syrepermeabilitet.

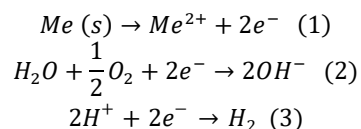
Mellan anoden och katoden måste det finnas en elektrolyt för att korrosionsprocessen ska kunna äga rum. Elektrolyten kan vara vatten, jord eller annat medium som kan leda joner. I jord och även i stenmjöl är det vatten som finns i porerna i jorden som leder jonströmmen. Ett mått på hur väl en jord kan leda ström är jordens resistivitet. Resistiviteten är viktig ut korrosionssynpunkt eftersom låg resistivitet underlättar korrosionsströmmarnas transport i elektrolyten mellan anod och katod. En elektrolyt med låg resistivitet har god ledningsförmåga och kan leda korrosionsströmmar bättre och är på så sätt mer korrosiv än elektrolyter med hög resistivitet.

Jord är ett poröst material som består av fast substans, vätska och luft, se Figur 1. Ur ett korrosionsperspektiv behandlas i fortsättningen stenmjöl som en typ av jord. Den fasta fasen består av olika andelar av mineraliskt och organiskt material. Vätskan består av vatten och gasfasen består framför allt av syrgas och av kvävgas. Andel och sammansättning av dessa olika media ger upphov till olika korrosionsegenskaper.



Figur 1 Jord är ett poröst material som består av mineral och organiska fasta delar, vatten och luft (Hillel, 1982).

För att korrosionsprocessen ska kunna ske krävs det att anod- och katodyta har metallisk kontakt så att korrosionsströmmen kan gå mellan anoden och katoden. Exempel på anod- och katodreaktioner anges i (1), (2) och (3):



Anod reaktionen (1) är ett exempel på tvåvärd oxidering av metallen *Me* och katodreaktionen (2) är reduktion av syre. Eftersom både anod och katodreaktion krävs för en korrosionsprocess och katodreaktionen innehåller reaktanterna vatten och syre blir korrosionen beroende av tillgången på dessa. För sura miljöer där det finns hög koncentration av vätejoner kan även en alternativ katodreaktion ske, vätgasutveckling, om katodens potential är tillräckligt låg. Reaktionen för vätgasutveckling anges i reaktion (3). Eftersom katodreaktionen oftast är den begränsande reaktionen ökar korrosionshastigheten då på grund av att flera katodreaktioner blir möjliga. I mycket fuktiga jordar med låg syrepermeabilitet blir det hastighetsbegränsande steget för korrosionen diffusion av syre till den korroderande ytan. I torra jordar är syrepermeabiliteten högre men begränsande blir istället överspänningen som krävs på grund av hög resistivitet.

2.1 KORROSION AV JORDTAG

Läckströmskorrosion uppkommer när ett metalliskt föremål i jord tar upp likström och sedan avger strömmen till marken. Ett klassiskt exempel är metallrör parallella med en spårväg där ström från spårvägen tas upp av ledningen och sedan leds tillbaka till spårvägen igen. Där läckströmmen går in i ett föremål sker en reduktionsreaktion och där strömmen lämnar föremålet sker en oxidation, korrosion.

Syftet med ett jordtag är att avleda felströmmar. Då en jordelektrod leder likström blir följden läckströmskorrosion av jordtaget eftersom en anodreaktion kommer att ske vid jordelektroden, se reaktion (1). Hur mycket material av jordelektroden som korroderar är proportionellt mot strömmen. Om jordelektroden består av ett passivt material kommer en annan anodreaktion att ske, till exempel oxidering av hydroxid till syre och vatten vilket är reaktion (2) åt motsatt håll.

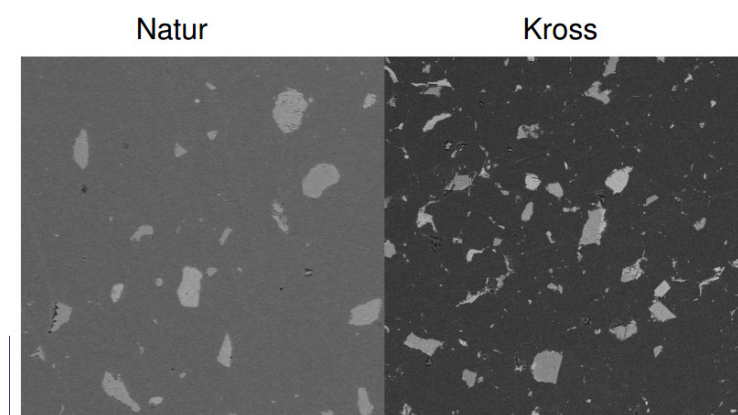
Då ett jordtag leder växelströmmar så sker både anod och katodreaktion på jordtaget eftersom strömmen hela tiden skiftar i polaritet. Parametrar för hur stor korrosionen blir beror på jordtagets material, tiden och amplituden för växelströmmen liksom dess frekvens. Normalt krävs mycket höga växelströmstätheter för att ge upphov till mätbar korrosion. Undantaget är aluminium som är känsligt för växelströmspåverkan.

För ström genom jordtaget orsakat av åsknedslag så kan spänningarna bli mycket höga och en anod- eller katodreaktion sker på jordtaget. Dock är dessa tidsperioder så korta att de inte orsakar någon korrosion av praktisk betydelse.

3 Stenmjöl

3.1 TILLVERKNING

I bergtäkter bryts berg som krossas och siktas i olika storlekar. Krossningen sker i flera steg med siktning emellan för att avskilja mindre fraktioner. Olika metoder för krossning till önskad storlek används, där en vanlig typ av kross är vertical shaft impactor (VSI). Material matas uppifrån till en snabbt roterande rotor som kastar materialet mot väggen så att det krossas vilket ger det krossade materialet kantiga och ojämna ytor. Skillnaden på partiklar mellan natursand och krossat material kan ses i Figur 2.



Figur 2 Naturliga partiklar till vänster och stenmjölpartiklar till höger som visar på en mer kantig geometri (Ay, Widenbrand, Lagerblad, Piiparinen, & Gram, 2004).

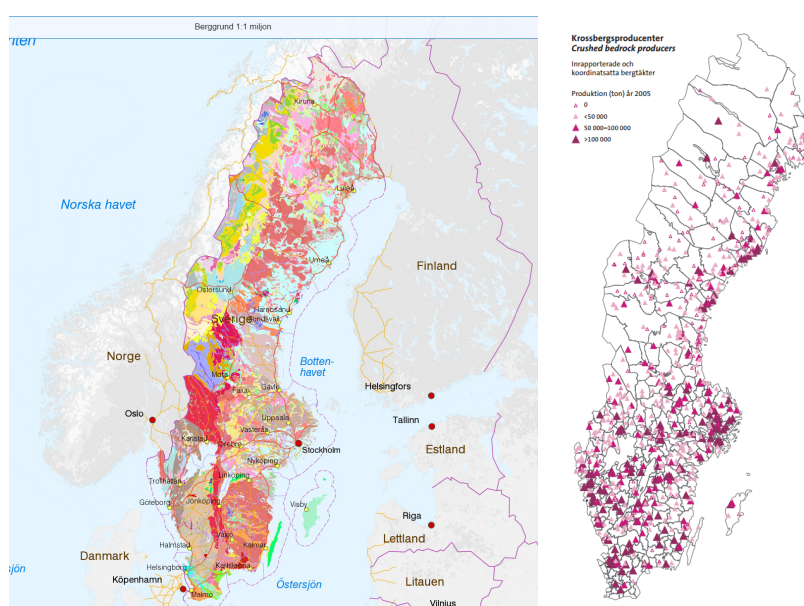
Den finaste fraktionen efter krossning och siktning blir stenmjöl. Gemensamt för olika fraktioner av stenmjöl är att de innehåller partiklar från 0 mm och uppåt. På marknaden förekommer fraktionen upp till 0/8 med benämningen stenmjöl. Korn med samma storlek som för stenmjöl förekommer även naturligt med skillnaderna att stenmjölet inte innehåller någon organisk del och är mer kantigt.

Stenmjöl förekommer som obehandlat material direkt från kross och med benämningen tvättat stenmjöl. Vid tvättning avskiljs de minsta partiklarna, ofta <0,063 mm, vilket ändrar stenmjölets egenskaper. Bland annat erhålls bättre dräneringsförmåga eftersom packningsegenskaperna blir sämre. Tvättningen kan ske på flera olika sätt till exempel genom siktning, uppslamning och cyklonseparator eller med siktskopor.

Stenmjölet tillverkas på flera platser i Sverige från varierande bergarter. Vanliga svenska bergarter är granit, gnejs och kalkberg. Bergarter kan vara både sura och basisiska där både granit och gnejs räknas som sura bergarter. Sura bergarter innehåller stora andelar av mineralerna kvarts, fältspat och glimmer. Framför allt kvarts, det vill säga kiseldioxid, SiO_2 , finns tillsammans med andra typer av kiseloxider. De sura bergarterna innehåller ofta också högre halter av mineraler med alkalimetaller som natrium och kalium (Bergartsbildande mineral, Sveriges geologiska undersökning, 2017). Benämningen sur bergart har dock inte med begreppet pH inom kemin att göra.

Basiska bergarter karaktäriseras av att de har låg halt av kiseldioxid men mer mineral som är rikt på kalcium, järn och magnesium (Bergartsbildande mineral, Sveriges geologiska undersökning, 2017). En basisk bergart innehåller ändå 45-52 % kiseldioxid och definieras som ultrabasisk då kiseldioxidhalten understiger 45 % (Melkerud, 2011). Stenmjöl som tillverkas av kalksten som innehåller mineralet kalkspat, även kallat kalcit, CaCO_3 , bör ha en god buffrande förmåga mot sänkning av pH-värdet i stenmjölet vilket är bra ur korrosionssynpunkt.

En karta över Sveriges bergarter och platser där krossbergsproducenter finns kan ses i Figur 3. I kartan över Sveriges bergarter kan det ses att landet till stor del har berggrund av granit.



Figur 3 Till vänster visas berggrundskarta över Sverige där rödaktiga och brunaktiga områden är berg med hög andel granit, grönt är kalksten, lila är sandsten, turkos är gråvacka, gult är granatglimmerskiffer. Bilden är genererad med SGU:s kartvisare (Kartvisare, Sveriges geologiska undersökning, 2017). Till höger visas platser med bergkrossanläggningar i Sverige (Berg, 2005).

3.2 KLASSIFICERING AV STENMJÖL SOM JORDTYP

För jord bestäms jordtypen utifrån kornstorleken av det oorganiska innehållet. Gränser för geoteknisk klassificering av jord finns angivet i standarden SS-EN ISO 14668. Klassificeringen från lera till mellangrus kan ses i Tabell 1. Eftersom fraktion av stenmjöl med beteckningen 0/2 innehåller partiklar med storlek från 0 till 2 mm skulle stenmjöl av denna fraktion enligt standarden SS-EN ISO 14668 klassas någonstans mellan ler och grovsand. Kornstorleken har betydelse för egenskaper som till exempel syrepermeabilitet och kapillär förmåga.

Tabell 1 Benämning och gränser för mineralfraktioner för jord.

Fraktion	Fraktionsgränser [mm]
Mellangrus	6,3-20
Fingrus	2-6,3
Grovsand	0,63-2
Mellansand	0,2-0,63
Finsand	0,063-0,2
Grovsilt	0,02-0,063
Mellansilt	0,0063-0,02
Finsilt	0,002-0,0063
Ler	<0,002

3.3 RESULTAT FRÅN ANALYSER AV STENMJÖL I LITTERATUREN

3.3.1 Undersökning av stenmjöls miljöpåverkan

SP, numera RISE, i samarbete med Chalmers tekniska högskola och avdelningen för byggnadsteknik och byggnadsmaterial, institutionen för geoteknik och gjuteriföreningen genomförde under första halvan av 2010-talet undersökningar för vad stenmjöl, och även andra restmaterial, har för egenskaper, i syfte att bedöma möjliga användningsområden och miljöpåverkan (Ekvall & von Bahr, 2004). Användningen av stenmjöl var vid denna tidpunkt mycket begränsad. Stenmjöl med fraktionen 0/2 från två olika platser analyserades med avseende på bland annat kornstorleksfördelning, kapillaritet och kemisk sammansättning.

Det ena stenmjölet som analyserats kom från berg av gråröd gnejsig granit med en mindre del amfibolit och pegmatit. Det andra stenmjölet kom från berg av grå granodiorit. Fraktionen för båda stenmjölen var 0/2 och prover för analyser togs ur högar på olika nivåer för att få en representativ storleksfördelning från de båda anläggningarna. Stenmjölen innehöll 30 respektive 36 % kvarts vilket gör att bergarten klassas som alkalisk.

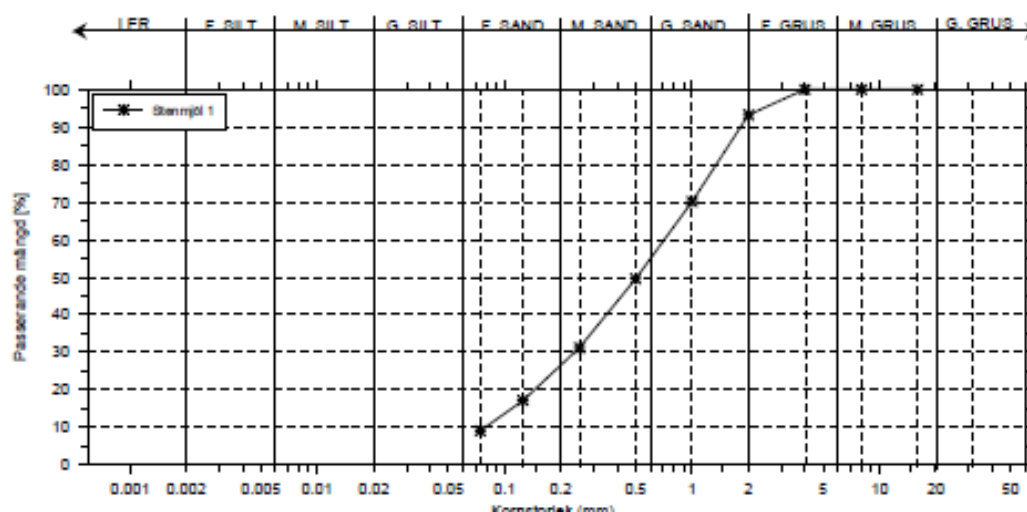
För att bestämma stenmjölernas kemi användes tillgänglighetstest enligt NT ENVIR 003 där proverna bereddes så att maximal urlakning kunde ske. Tillgänglighetstestet ger en uppfattning om hur mycket av ett ämne som kan lakas ur över en lång tidsperiod. Från ett korrosionsperspektiv är halten av klorider och sulfater intressant då dessa ökar risken för korrosion genom att bland annat sänka resistiviteten i elektrolyten. Halten i stenmjölet av dessa ämnen analyserades och tillgänglighetstest för kloridjoner och sulfatjoner visade på relativt låga halter av dessa ämnen. För klorider var halten 39 respektive 27 mg/kg för de olika stenmjölen och för sulfater 2 respektive 9 mg/kg. Uppmätta pH-värden på lakvatten var 8,5 och 8,6 för respektive stenmjöl vilket ligger i linje med att bergarten från bergtäkten klassas som alkaliska kopplat till kvartsinnehållet.

Rapporten hade fokus på miljöaspekter varvid de analyserade ämnena är sådana som kan kopplas till miljöpåverkan, som till exempel metaller. Analys genomfördes med inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES, detektionsgräns 1 mg/kg) för båda stenmjölen och för ena stenmjölet

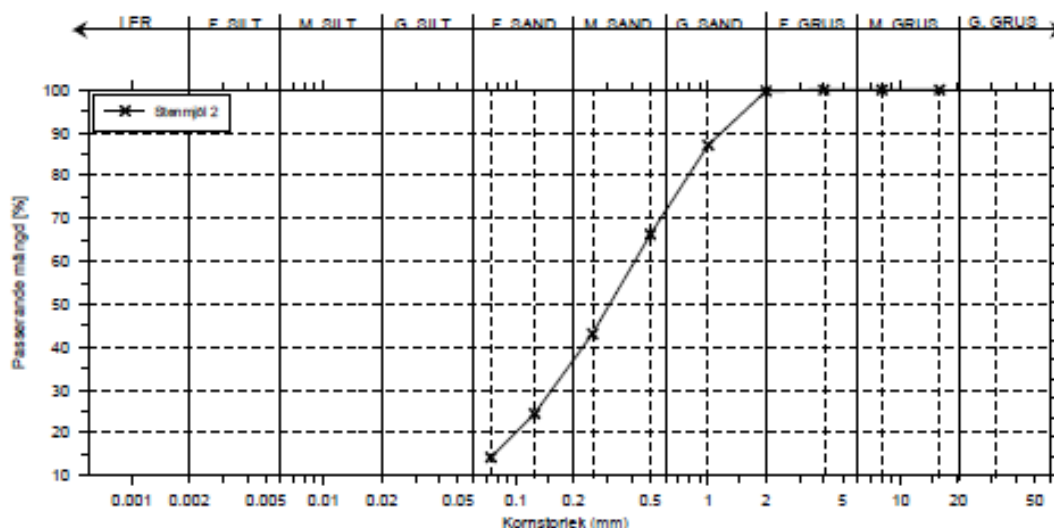
användes även inductively coupled plasma mass spectroscopy (ICP-MS) som är ännu känsligare. Analyserade ämnen med denna metod var V, Cu, Co, Cr, Zn, Pb och As. Värderna för dessa låg inom halter för naturmaterial förutom för Co och Pb för det ena stenmjölet som låg något över gränsen för naturmaterial. Ingen analys genomfördes för organiskt material.

Den hydrauliska konduktiviteten, genomsläppligheten för vatten, mättes. För stenmjölen angavs det att den hydrauliska konduktiviteten är i samma storleksordning som för grovsilt. Utifrån klassningen som grovsilt angavs den kapillära stighöjden vara 1,5-10 m vid lös lagring och 2,5-12 m vid fast lagring. Kornstorleksfördelning för de analyserade stenmjölen kan ses i Figur 4.

Kornstorleksfördelning:



Kornstorleksfördelning:



Figur 4 Kornstorleksfördelning hos de analyserade stenmjölen (Gustafsson, o.a., 2003).

3.3.2 Undersökning av stenmjöl som tillsats för jordförbättring

I en C-uppsats utförd vid Luleå tekniska universitet (Linström & Åström, 2010) analyserades stenmjöl och utvärderades som möjligt jordförbättringsmedel. Analyser genomfördes på stenmjöl från fyra olika platser med fraktionen 0/4. Bergarterna från de olika platserna varierade. Analyserna omfattande bland annat kornstorleksfördelning, kemi, permabilitet och kapillaritet.

Kornstorleksfördelningen för de fyra olika stenmjölen varierade. Resultaten visar på att stenmjöl innehåller fraktioner från 0 till 4 mm men att fördelningen av dessa varierar. Kemisk analys av lakvätska från stenmjölet enligt standard EN 12457-3 gav kloridinnehåll på mellan 8 och upp till 30 mg/kg. pH-värdet på lakvätska för de olika stenmjölen varierade från 8,1 till 9,4, det vill säga lakvätskan var alkalisk.

3.3.3 Stenmjöl internationellt

Internationell litteratur fokuserar i huvudsak på att bedöma och studera om stenmjöl kan användas som utfyllnadsmaterial i betong. Sparsam information finns om stenmjöl som material för ersättning av till exempel makadam. I den engelskspråkiga litteraturen förekommer också flera olika benämningar på stenmjöl som till exempel stone dust, stone flour, rock flour, crusher dust och så vidare.

3.4 BEDÖMNING AV EGENSKAPER FÖR STENMJÖLS KORROSIVITET

3.4.1 Kapillär förmåga

Stenmjöl antas vara ett hydrofilt material eftersom det består av mineraler som är oorganiska. Den kapillära stighöjden för jord är kopplad till hydrofobiciteten och storleken på partiklarna där den kapillära stighöjden ökar med minskande partikelstorlek. Leror med små partiklar har således högst kapillär förmåga och sandiga jordar lägre.

Då kornstorleken hos stenmjöl som analyserats i litteraturen kan liknas vid grovsilt antas den kapillära förmågan vara liknande. Den kapillära stigningen angavs för denna partikelstorlek vara upp till 12 m för packat material. Detta bör medföra att nederbörd hålls kvar i stenmjölet som för det mesta kommer vara fuktigt. Den kapillära förmågan hos stenmjöl med större fraktion bör vara lägre men kanske inte skiljer sig allt för mycket eftersom den fortfarande innehåller fraktionen från 0 mm.

För korrosion i jord är två viktiga egenskaper tillgången på vatten och syre. Högsta korrosionshastigheten fås inte vid total vattenmättnad utan när det även finns god tillgång på syre. Detta beror på att katodreaktionen för korrosion i jord främst är reduktion av syre till hydroxidjoner, se reaktion (2).. I litteraturen finns varierande resultat på vilken vattenhalt som ger högst korrosionshastighet, något som också är beroende på typ av jord.

3.4.2 Syrepermeabilitet

Eftersom stenmjöl som ej är tvättat innehåller korn med storlek från 0 mm blir stenmjöl ett relativt tätt material. I ett tätt material med låg syrepermeabilitet avtar korrosionshastigheten när syret intill konstruktionen som korroderar förbrukats. Dock finns risken för luftningsceller om en konstruktion går genom packat stenmjöl med låg syrepermeabilitet och sedan in i lösare jord med hög syrepermeabilitet. Den del av konstruktionen som är förlagd i stenmjöl blir då anod med risk finns för förhöjd korrosionshastighet eftersom katodreaktionen sker i den välluftade jorden. Med tvättat stenmjöl där den minsta fraktionen avlägsnats minskar således risken för luftningsceller när en konstruktion går igenom stenmjöl och in i en jord med högre syrepermeabilitet. Dock så ökar den jämna korrosionen av konstruktionen i stenmjöl på grund av att tillförseln av syre blir högre. Korrosionshastigheten för luftningsceller är i de flesta fall högre än för jämn korrosion så tvättat stenmjöl är att föredra om konstruktionen går genom flera jordtyper.

3.4.3 pH

I ett antal rapporter har lakning av stenmjöl genomförts och pH-värdet har mätts på lakvattnet. pH har i samtliga fall varit alkaliskt med ett pH-värde från 8,1 till 9,4 (Linström & Åström, 2010), (Gustafsson, o.a., 2003). Ett alkaliskt pH är positivt ur korrosionssynpunkt då korrosionshastigheten minskar med ökat pH-värde eftersom katodreaktionen vätegasutveckling blir mindre sannolik.

Gnejs och granit är vanliga bergarter i Sverige. Hur pH:t i stenmjöl av dessa bergarter utvecklas beror på om det finns föreningar som kan avge vätejoner eller hydroxidjoner vid kontakt med vatten, det vill säga syror eller baser. Kalkhaltigt stenmjöl bör ha goda buffrande egenskaper, motstånd mot förändring i pH.

Sveriges jordar generellt är något sura på grund av den organiska andelen som innehåller bland annat humus. Stenmjöl där organiskt material förmultnar på markytan bör bli något surt med tiden om kalkhaltiga föreningar inte finns i stenmjölet. För stenmjöl som är något surt förmodas korrosionen med avseende på pH-värde vara likvärdigt med den för naturjord.

3.4.4 Resistivitet

Resistivitet är en materialegenskap som används för att beskriva hur bra ett material är på att leda ström. I material som sand och leror sker strömmen genom att joner migrerar genom mediet via vatten som finns i jorden. Resistiviteten används ibland som en enkel parameter för att klassa korrosiviteten hos ett medium men ger inte hela bilden av hur korrosivt ett medium är utan behöver kopplas samman med andra parametrar som diskuteras i detta kapitel. Korrosivitetssklassning mot resistivitet för jord kan ses i Tabell 2.

Tabell 2 Resistivitet och motsvarande korrosivitet (Stott & John, 2010).

Resistivitet [Ωm]	Korrosivitet
<10	Extremt korrosiv
10-30	Högorrosiv
30-50	Korrosiv
50-100	Måttligt korrosiv
100-200	Milt korrosiv
>200	Icke korrosiv

I litteraturen hittades inga genomförande analyser av stenmjöls resistivitet. Berg har mycket hög resistivitet men när det krossas till stenmjöl vilket har kapillär förmåga att hålla vatten sänks resistiviteten avsevärt.

Resistiviteten är också kopplad till förmågan för en jord att hålla vatten och även hur mycket joner med bra ledningsförmåga som finns löst i jorden. Resistiviteten för förlagt stenmjöl bör variera med packningsgrad, markfuktighet och partikelstorlek. Eftersom den kapillära förmågan ökar med minskande partikelstorlek minskar också resistiviteten med minskande partikelstorlek. Med avseende på stenmjöls kapillära förmåga bör stenmjöl ha samma resistivitet som grov sand.

3.4.5 Mineralisk och kemisk sammansättning

Den kemiska sammansättningen hos mineralerna i berget som stenmjölet kommer ifrån kommer att påverka korrosiviteten. Då berg krossas till små fraktioner som i fallet med stenmjöl ökar möjligheten för ingående mineraler och salter att lakas ur eftersom en större yta av materialet blir exponerat. Hur mycket som lakas ur stenmjölet är beroende på kornstorleken. Eftersom stenmjöl har god kapillär förmåga bör stenmjölet kunna laka ur salter relativt lätt.

För stenmjöl med liten kornstorlek finns en större partikelyta sett till en given volym stenmjöl som gör det möjligt att laka ur mer av lösliga ämnen. Även pH-värdet kan därför tänkas ha ett beroende av partikelstorleken där pH-värdet för en sur bergart minskar med minskat partikelstorlek. Tvättat stenmjöl där de minsta fraktionerna tagits bort bör därför laka ur mindre salter.

Lösta salter i jordar sänker resistiviteten och gör det därmed lättare för korrosionsströmmar att flyta genom elektrolyten. Vid kemiska analyser av stenmjöl erhöles relativt höga halter av metaller men ändå inom gränsen för naturmaterial. Klorid- och sulfathalterna var inte nämnvärt höga utan ligger på samma halter som för naturliga jordar (Ekvall & von Bahr, 2004).

4 Korrosion av ledningsmaterial

4.1 KOPPAR

Koppar är en relativt ädel metall som oftast har en låg korrosionshastighet i jord. (Mattson & Kucera, 2009) Detta har bland annat visats i en svensk studie där kopparplåtar exponerades på olika nivåer med och utan sandfyllning. Det konstaterades att koppar i sandfyllning ovan grundvattenytan efter 7 år hade haft en genomsnittlig korrosionshastighet mellan $<0,1$ och $1,4 \mu\text{m}/\text{år}$, vilket anses vara en låg korrosionshastighet. Det framgår även att de provplåtar som varit exponerade i sandfyllning i organiska leror hade en något högre korrosionshastighet ($0,7-1,4$) än de som varit i sandfyllning i andra typer av jord ($<0,1-0,7$). Det diskuteras att på de mest korrosiva platserna var de kringliggande jordarna organiska leror som alla hade ett lågt pH-värde ($<4,4$) och höga halter av antingen sulfat, klorid eller både och. Det sågs dock att pH-värdena i sandfyllningen i dessa jordar låg mellan $5,1 - 7,2$ efter tre år. En möjlig anledning till den generellt ökande korrosionen i sandfyllning i organiska jordar sägs vara kopparjonernas komplexbildning med organiska element. Detta skulle kunna öka borttransporten av kopparjoner från metallytan vilket skulle minska tillväxten av ett skikt av korrosionsprodukter som annars skulle kunna sakta ner korrosionen. (Camitz & Vinka, Corrosion of copper in Swedish soils, 1992) Det finns dock studier på koppar i välluftade moränjordar som inte såg något direkt samband mellan korrosionshastigheten och pH-värde, organisk halt eller klorid-/sulfathalt. (Vinka, Korrosion på metaller i svenska jordar - sammanställning av resultat från fältexponeringar och praktiska erfarenheter, 2003)

Sammanfattningsvis kan slutsatsen dras att välluftade sandfyllningar i organiska leror med lågt pH och höga halter av sulfat och klorider bör ses som mer korrosiva. Dock finns det exempel i de nämnda studierna som pekar på att de enskilda faktorerna inte nödvändigtvis behöver leda till ökad korrosion.

För att anknyta till stenmjöl så bör sandfyllning vara det som är mest representativt. Det kan ses att vid fyllning så är placeringar över grundvattennivån i organiska jordar de mest problematiska. Dock framgår det att den största korrosionshastigheten som uppmätts i en sandfyllning i organisk lera är $1,4 \mu\text{m}/\text{år}$, vilket är en låg korrosionshastighet. I fallen med sandfyllning visades dock att pH-värdet initialt var högre i sandfyllningen än i de omgivande jordarna, vilket är bra ur korrosionssynpunkt. Då vissa kvartsrika stenmjöl har ett lägre pH-värde är det möjligt att korrosionshastigheten är högre. Vidare är det rimligt att anta att de initiala skillnaderna mellan fyllning och den naturliga jorden kommer att avta med tiden. Detta gäller såväl pH-värdet som den organiska halten, vilket då skulle kunna påverka korrosionshastigheten.

4.2 FÖRZINKAT STÅL

Varmgalvanisering är ett av de absolut vanligaste korrosionsskydden på stål. Vid varmgalvanisering bildas ett zinkrikt skikt lägst ut med zink-järnlegeringar innanför. Zinkhalten i dessa sjunker närmare stålytan. Zinken i skiktet kan sägas

ha två funktioner; dels kan zinken bilda ett passiverande skikt av korrosionsprodukter på ytan, och dels kan den fungera som offeranod åt det underliggande stålet. Det har setts i flera studier att korrosionshårdigheten hos det galvaniserade skiktet är aningen sämre än hos rent zink. De är dock snarlika. (Vinka, Korrosion på kolstål, förzinkat stål och zink i jord - långtidsundersökning, 2014)

En viktig aspekt av korrosionshårdigheten hos zink och förzinkat stål är således dess förmåga att kunna bilda de passiverande korrosionsprodukter, där hydrozinkit, $\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$, är bland de vanligaste. Passiveringen påverkas av flera olika parametrar där luftningen av jorden och vattenhalten, pH-värdet samt halten av passiverande ämnen, så som vätekarbonatjoner HCO_3^- , ofta nämns som de främsta. (Vinka, Korrosion på kolstål, förzinkat stål och zink i jord - långtidsundersökning, 2014)

För att de passiverande korrosionsprodukterna ska bildas krävs det först att Zn^{2+} -joner frisätts. Detta sker genom korrosion av zinkytan, vilket framförallt påverkas av hur välluftad jorden är. För att jonerna ska kunna fällas ut som exempelvis hydrozinkit gäller det dock att de bildade Zn^{2+} -jonerna ej transporteras bort från ytan eller binds upp på andra sätt. Av dessa torde det senare vara det som främst sker. Zn^{2+} -jonerna kan exempelvis genom katjonsbyte och adsorption bindas till en rad olika partiklar som kan förekomma i jorden, exempelvis silikatmineral och kalcit. Vidare kan även Zn^{2+} -jonerna komplexbinda till bland annat olika organiska komponenter, så som fulvo- och humussyror. För att de bildade Zn^{2+} -jonerna ska kunna bilda hydrozinkit krävs även att karbonat finns tillgängligt. I jorden återfinns den vanligen antingen som HCO_3^- , i jordvattnet, eller som CaCO_3 , som mineral. Dessa två former är dock vanligen sammankopplade och halterna är relaterade till pH-värdet i jorden. (Vinka, Korrosion på kolstål, förzinkat stål och zink i jord - långtidsundersökning, 2014) Exempelvis så krävs det ett för jordar relativt högt pH-värde för att hydrozinkit skall kunna fällas ut på ytan. När zink korroderar i välluftade jordar sker dock en alkalisering genom katodreaktionen vilket kan höja pH-värdet lokalt. Detta talar för att pH-värdet är underställt luftningen av jorden. (Vinka, Korrosion på metaller i sur moränjord, 1997) Det är även rimligt att anta att CO_2 från luften till viss del bidrar till passiveringen av zink i välluftade jordar.

I en svensk studie exponerades plåtar av bland annat förzinkat stål och zink i olika svenska jordar. På varje plats skedde exponering över och under grundvattenytan i naturlig återfyllning samt i sandfyllning. Skillnaden i korrosivitet mellan de olika sandfyllningarna beroende på omgivande jord är låg. Möjligtvis är korrosionshastigheten något högre när sandfyllningen omges av torv ($14 \mu\text{m}/\text{år}$) jämfört med de övriga platserna ($3,3 - 12 \mu\text{m}/\text{år}$). (Vinka, Korrosion på kolstål, förzinkat stål och zink i jord - långtidsundersökning, 2014) Torvens högre korrosivitet torde vara lågt pH-värde, hög vattenhalt (dålig luftning) samt mycket stor förmåga att adsorbera och komplexbinda Zn^{2+} -joner på grund av den höga organiska halten. Alla dessa faktorer motverkar passivering av metallytan. Varken sulfid- eller kloridhalt föreföll dock ha någon inverkan på korrosionen. I fallet med kloridhalten kan dess inverkan ha överskuggats av andra faktorer, så som luftning. (Vinka, Korrosion på kolstål, förzinkat stål och zink i jord - långtidsundersökning, 2014)

I långtidsexponeringarna sågs det att efter 18 år hade stora områden av det galvaniserade skiktet korroderat bort vilket exponerade stålet undertill. Detta gällde för samtliga provplatser med undantag för de som var exponerade i sandig jord. Medelursprungstjockleken på förzinkningsskiktet var 165 μm och den minsta uppmätta tjockleken 50 μm . (Vinka, Korrosion på kolstål, förzinkat stål och zink i jord - långtidsundersökning, 2014) Det är således inte orimligt att det galvaniserade skiktet initialt endast korroderat bort på några få ställen. Den frilagda stålytan kommer då vara ädlare än den omgivande förzinkade ytan vilket leder till att det förzinkade skiktet kommer fungera som offeranod. Detta kommer leda till en ökad korrosionshastighet vilket ger än mer exponerat stål. Gropfrätning förefaller inte vara vanligt förekommande på förzinkade prover i jord. Om det dock skulle inträffa skulle det underliggande stålet exponeras snabbare, men detta skulle inledningsvis endast gälla förhållandevis små ytor.

När det inte längre finns tillräckligt med zink för att skydda stålet kommer även stålet att börja korrodera. I en studie exponerades plåtar av bland annat kolstål i olika svenska jordar. På varje plats skedde exponering över och under grundvattenytan samt med naturligt återfyllning samt med sandfyllning. Efter ungefär 18 år sågs det att korrosionshastigheterna i sandfyllningen över grundvattenytan varierade mycket. Korrosionen var som störst i leror (12-20 $\mu\text{m}/\text{år}$) där den högsta korrosionshastigheten uppmättes i en sulfidrik miljö. I sandfyllning i torv var korrosionshastigheten ca 4,4 $\mu\text{m}/\text{år}$. (Vinka, Korrosion på kolstål, förzinkat stål och zink i jord - långtidsundersökning, 2014)

Beträffande luftning/vattenmättnad i jorden så finns det en avvägning för vad som är mest gynnsamt för korrosionen. Å ena sidan gynnas tillgången på syre av välluftade jordar, men om jorden blir för välluftad finns där ingen bra elektrolyt. Således finns det någon typ av optimum för vattenhalten i jord där korrosionen blir maximal. (Gupta & Gupta, 1979) Sandfyllningen ger troligen en lägre kapillärl stigning än de naturliga jordarna vilket gör att luftningen påverkas. Vidare kan grundvattenytan dessutom fluktuera stort under ett år. Det är möjligt att den varierande inverkan som sandfyllning har på korrosionen kan förklaras med att beroende på hur stor skillnaden är mellan den kapillära stigningen i sanden och i den naturliga jorden samt hur grundvattenytan ligger så kan sandfyllningen antingen öka eller sänka korrosiviteten.

För att anknyta till stenmjöl bör sandfyllning vara det som är mest relevanta som en jämförelse. Zinkskiktet verkar korrodera mest då sandfyllningen omges av höga organiska halter och låga vätekarbonathalter. Lågt pH kan även det vara försvårande, dock kan den alkaliserande effekten av katodreaktionen på zinkytan i välluftade jordar ibland uppväga ett lågt pH-värde. Då stålet blivit bårt verkar det som att korrosionen är högre då fyllningen omges av lera. De fyllningar som påträffats i dessa studier visades dock initialt ha höjt pH-värdet jämfört med de omgivande jordarna, vilket är bra ur korrosionssynpunkt. Då vissa kvartsrika stenmjöl har ett lägre pH-värde är det möjligt att korrosionshastigheten är högre. Vidare är det rimligt att anta att de initiala skillnaderna mellan fyllning och den naturliga jorden kommer att avta med tiden. Detta gäller såväl det pH-värdet som den organiska halten, vilket då skulle kunna påverka korrosionshastigheten.

4.3 MAGNELIS

Magnelis är en zinkbaserad beläggning för stål som innehåller 3,5 % Al och 3 % Mg och marknadsförs som mer korrosionsresistent än både varmförzinkat och Aluzink. (Products, 2017) Det sker mycket forskning på olika Zn-Al-Mg-legeringar och de mekanismer som sker vid korrosion och det finns många olika processer inblandade som påverkar korrosionsresistensen. Det förefaller dock som att Zn-Al-Mg-legeringar Magnelis under vissa förutsättningar och försök har en lägre korrosionshastighet än varmförzinkat. (Salgueiro Azevedo, Allély, Ogle, K., & Volovitch, 2015), (Prosek, Nazarov, Goodwin, Serák, & Thierry, 2016). En stor del av dessa studier är dock baserade på atmosfäriska provningar. Det är dock möjligt att detta skulle kunna tyda på att Magnelis har en bättre korrosionsbeständighet än förzinkat i mycket vålluftade jordar. Detta är dock spekulativt.

Det är oklart om någon längre exponeringsstudie i jord har utförts. Enligt företaget som marknadsför Magnelis tyder dock ettåriga laboratorieförsök med artificiell jord att Magnelis är mer korrosionsresistent än varmförzinkat. (Products, 2017) Det bör dock betonas att jord är ett mycket heterogent medium som kan variera stort från en plats till en annan. Således kan det vara mycket svårt att simulera jord på ett tillfredsställande sätt på laboratorium.

4.4 ALU-ZINK

Aluzink är en ytbeläggning som består av 55; 43,4 och 1,6 vikt-% Al, Zn och Si, respektive. (ArcelorMittal, 2017)

I en tidigare studie exponerades plåtar av bland annat stål med Aluzink i olika svenska jordar. På varje plats skedde exponering över och under grundvattenytan samt med naturligt återfyllning samt med sandfyllning. Efter ett års exponering sågs det att korrosionshastigheterna i sandfyllning över grundvattenytan låg mellan ungefär 2,5 och 4,5 $\mu\text{m}/\text{år}$ i de olika lerorna och på ungefär 0,5 $\mu\text{m}/\text{år}$ i torv. Detta kan jämföras med ettårsvärdena för förzinkat stål på samma provplatser där samtliga korrosionshastigheter var mellan 9,3 och 14 $\mu\text{m}/\text{år}$, med undantaget för en gytig lera som var på 3,3 $\mu\text{m}/\text{år}$. Det bör dock ej läggas för stor vikt vid de exakta resultaten från ettårsexponeringar på grund av den korta tiden. Tillskillnad från de förzinkade proverna förefaller inte Aluzink påverkas lika tydligt av de omkringliggande jordarnas pH-värden eller organiska innehåll över grundvattenytan. (Camits & Vinka, 1986). Det har även setts i andra korta exponeringsstudier att Aluzink förefaller vara mer korrosionsresistent än förzinkat. (Camitz & Vinka, Corrosion resistance of copper in Swedish soils, 2001) (Camitz & Vinka, Corrosion of copper in Swedish soils, 1992)

Likt de tidigare materialen är det sandfyllningarna som är mest relevanta att jämföra med. Aluzink förefaller ha högst korrosionshastighet då fyllningen ligger i lera, dock med initiala lägre korrosionshastigheter. Då det bara finns värden från korttidsexponeringar är det dock oklart hur den omgivande jorden påverkar korrosionen i sandfyllningen på sikt. Det är, som tidigare nämnt, troligt att den eventuella effekt som fyllning initialt verkar ha på bland annat pH och organisk halt bör minska med tiden.

5 Slutsatser

Från litteraturstudien kring stenmjöls korrosivitet kan följande slutsatser medges:

- Erfarenheten kring stenmjöls korrosivitet är ytterst begränsad.
- Stenmjöl bör ha liknande fysikaliska egenskaper som finsand – fingrus.
- Tvättat stenmjöl där de minsta partiklarna avlägsnats bör ge lägre korrosion.
- Koppar – Det har ej påträffats några studier på koppars korrosivitet i stenmjöl. Jämförelse med sandfyllning gör gällande att korrosionshastigheten kan antas vara låg, dock något förhöjd då fyllningen omges av sura, organiska leror.
- Förzinkat stål – Det har ej påträffats några studier på förzinkat ståls korrosivitet i stenmjöl. Jämförelse med sandfyllning gör gällande att korrosionshastigheten kan antas vara något förhöjd då fyllningen omges av sura, organiska leror.
- Aluzink – Det har ej påträffats några studier på Aluzinks korrosivitet i stenmjöl. Jämförelse med sandfyllning gör gällande att korrosionshastigheten kan antas vara lägre än för förzinkat. Dock finns det endast studier baserade på korttidsexponeringar.
- Magnelis – Exponeringsstudier som visar Magnelis korrosionsbeständighet i jord har ej påträffats.

6 Fortsatt arbete

Fortsatta studier för att bedöma stenmjöl ur ett korrosionsperspektiv bör innefatta både fältstudier och mer kontrollerade försök i laboratorium. Fältstudier kan innefatta:

- Upptagning och inspektion av jordningslinor
- Resistivitetsmätningar i stenmjöl
- Analys av stenmjöl där korrosionshastigheten varit hög
- Elektrokemisk potential för metaller som är förlagda i stenmjöl
- Syrepermeabilitetsmätningar

Fältstudier kan följas upp med exponeringar av material i stenmjöl. Laborativa exponeringar kan genomföras för ett material, till exempel koppar, med olika exponeringstider, fuktigheter och i olika typer av stenmjöl i syfte att utvärdera vilka parametrar hos stenmjöl som påverkar korrosionen mest.

Exponeringar kan också genomföras med avseende att bedöma de olika materialens beständighet mot korrosion i stenmjöl. Dessa exponeringar kan genomföras i fält och/eller på laboratorium.

Det finns även möjlighet att göra upptag av långtidsexponerade provplåtar av koppar, varmförzinkat stål och aluzinkbelagt stål i naturliga jordar och sandfyllning. Detta skulle ge en uppskattning om hur korrosionen utvecklas över tiden och hur omkringliggande jord påverkar miljön i sandfyllning.

Med ett större underlag för stenmjöls korrosivitet kan också klassning av korrosiviteten hos olika stenmjöl genomföras likt den tyska klassningen av jordars korrosivitet i DVGW GW 9:2011 (Evaluation of soils in view of their corrosion behaviour towards buried pipelines and vessels of non-alloyed iron materials, 2011).

7 Litteraturförteckning

- ArcelorMittal. (den 09 05 2017). *Products & Solutions - Products in the spotlight - Aluzinc*. Hämtat från ArcelorMittal Industry: http://industry.arcelormittal.com/products-solutions/Products_in_the_spotlight/aluzinc
- Ay, L., Widenbrand, M., Lagerblad, B., Piiparinen, P., & Gram, H. E. (2004). *Krossad sand för fabriksbetongtillverkning, SBUF Rapport Projektnummer: 11213*. Solna: Skanska Sverige AB.
- Berg, Å. (2005). *Grus, sand och krossberg - Produktion och tillgångar 2005*. Sveriges geologiska undersökning.
- Bergartsbildande mineral, Sveriges geologiska undersökning*. (den 12 04 2017). (Sveriges geologiska undersökning) Hämtat från <http://www.sgu.se/om-geologi/mineral/bergartsbildande-mineral/> den 10 04 2017
- Camitz, G., & Vinka, T.-G. (1986). *Corrosion of steel and metal-coated steel in Swedish soils - Results of field exposures*. 10th Scandinavian Corrosion Congress (ss. 305-312). Stockholm: Korrosionsinstitutet.
- Camitz, G., & Vinka, T.-G. (1992). *Corrosion of copper in Swedish soils*. 12th Scandinavian Corrosion Congress & Eurocorr '92 (ss. 729-738). Stockholm: Korrosionsinstitutet.
- Camitz, G., & Vinka, T.-G. (2001). *Corrosion resistance of copper in Swedish soils*. Korrosionsinstitutet.
- Ekvall, A., & von Bahr, B. (2004). *Sammanställning av genomförda kemiska analyser och tester för gjuterisand, bottenaska och stensmjöl, samt jämförelse med olika bedömningsgrunder*. SP Rapport 2004:12. Borås: SP.
- Evaluation of soils in view of their corrosion behaviour towards buried pipelines and vessels of non-alloyed iron materials*. (2011). DVGW GW 9:2011. Wirtsschafts und verlagsgesellschaft undwasser.
- Gupta, S., & Gupta, B. (1979). *The critical soil moisture content in the underground corrosion of mild steel*. Corrosion Science, 171-178.
- Gustafsson, M., von Bahr, B., Ekvall, A., Johansson, P., Reuterhage, Å., & Wallman, S. (2003). *Inledande laboratieförsök projekt AIS 32 - Delrapport 1*. Vinnova.
- Hillel, D. (1982). *Introduction to soil physics*. London: Academic press, Inc. Ltd.
- Kartvisare, Sveriges geologiska undersökning*. (den 19 04 2017). Hämtat från Kartvisare: <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-berggrund-1-miljon.html>
- Larson, R. (2008). *Jords egenskaper*. Linköping: Sveriges geotekniska institut.
- Linström, Ö., & Åström, J. (2010). *Stensmjöl som jordförbättringsmetod*. Luleå tekniska universitet.
- Mattson, E., & Kucera, V. (2009). *Elektrokemi och korrosionslära - 3:e upplagan*. Kista: Swerea KIMAB AB.
- Melkerud, P.-A. (2011). *Liten geologisk encyklopedi - bearbetning*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö.

- Products, A. E.-F. (den 09 05 2017). *Products&Solutions - Products in the spotlight - Magnelis*. Hämtat från ArcelorMittal Industry:
<http://industry.arcelormittal.com/magnelis>
- Prosek, T., Nazarov, A., Goodwin, F., Serák, J., & Thierry, D. (2016). *Improving corrosion stability of Zn-Al-Mg by alloying for protection of car bodies*. Surface and Coatings Technology, 439-447.
- Salgueiro Azevedo, M., Allély, C., Ogle, K., & Volovitch, P. (2015). *Corrosion mechanisms of Zn(Mg,Al) coated steel: 2. The effect of Mg and Al alloying on the formation and properties of corrosion products in different electrolytes*. Corrosion Science, 482-490.
- Stott, J., & John, G. (2010). *Corrosion in soils*. i Shreir's Corrosion Volume 2: Corrosion in liquids, Corrosion evaluation (ss. 1149-1167). Elsevier.
- Vinka, T.-G. (1997). *Korrosion på metaller i sur moränjord*. Stockholm: Korrosionsinstitutet.
- Vinka, T.-G. (2003). *Korrosion på metaller i svenska jordar - sammanställning av resultat från fältexponeringar och praktiska erfarenheter*. Stockholm: Svenskt Vatten AB.
- Vinka, T.-G. (2010). *Spridning av metaller från jordförlagda konstruktioner - Resultat från fältundersökningar*. Kista: Swerea KIMAB AB.
- Vinka, T.-G. (2014). *Korrosion på kolstål och zink i moränjord*. Kista: Swerea KIMAB AB.
- Vinka, T.-G. (2014). *Korrosion på kolstål, förzinkat stål och zink i jord - långtidsundersökning*. Kista: Swerea KIMAB AB.

STENMJÖLS KORROSIVITET

Stenmjöl är benämningen på de minsta beståndsdelarna från bergkross. Tidigare har stenmjölet inte använts kommersiellt utan varit en restprodukt från tillverkningen av krossprodukter med en större kornstorlek. Men för cirka 15 år sedan började man använda stenmjöl som fyllnadsmaterial för att ersätta till exempel natursand.

Här har stenmjöls korrosivitet och hur dess egenskaper kan kopplas till korrosion undersökts i en litteraturstudie. Korrosion av koppar, förzinkat stål, aluzink och magnelis har också undersökts med avseende på hur korrosion på metaller kan påverkas vid förläggning i stenmjöl.

Slutsatsen är att uppgifter om stenmjöls korrosivitet i litteraturen är mycket begränsad. Tvättat stenmjöl, där de minsta kornen avlägsnats, bör minska risken för luftningsceller och utlakning av salter. Data för korrosion på koppar, förzinkat stål, aluzink eller magnelis som är förlagt i stenmjöl har inte hittats.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se