

Teglværksler i Danmark

Torsten Holmboe



Teglværksler i Danmark

Sammensætningen af dansk teglværksler,
hårdtbrændende ler, alternative lertyper
og kortlægning med stang slingram

Torsten Holmboe

Sammenfatning	4
Forord	5
Indledning	6
De danske lerbjergarter	7
Ler fra juratidens aflejringer på Bornholm	8
Kaolin	8
Rønne Formationen og Hasle Formationen	8
Bagå Formationen	9
Danske lerbjergarter fra tertiærtiden	9
Vurdering af tertiærtidens lerarter til lerbrænding	9
Den mineralogiske udvikling af tertiærtidens lerarter	12
Kvartærtidens leraflejringer	14
Moræneler	15
Smeltevandsler	15
Ishavsler	16
Lermineralogi af kvartære aflejringer	16
Teglfremstilling	18
Gravning og forbehandling	18
Formning	19
Håndstrygning	19
Strengpresning	19
Blødstrygning	19
Tagsten	19
Tørring	19
Lerbrænding	20
Kvalitet	21
Geofysisk kortlægning	22
Stang slingram	22
Eksempel på kortlægning med stang slingram	23
Opsamling	25
Hårdtbrændende ler	27
Baggrund	27
Lerforekomster i Ribe Amt	27
Konklusion og anbefalinger	30
Analyser af lertyper i Danmark	31
Sigte- og sedigrafanalyser	31
Metode	31

Resultater	32
Kemiske analyser	33
Metoder	33
Resultater	33
Tegltekniske analyser	36
Bøjningstræk- og trykstyrkeudviklingen	36
Brændingssvind	42
Minutsugning og vandoptagelse	45
Nettodensitet	46
Vandoptagelse	47
Reabsorption	48
Tørringssvind	49
Lermineralogi	51
Teori	51
Principper bag lermineralogisk analyse	54
Lermineralogiske analyser	55
Metode	55
Resultater	56
Opsamling og anbefalinger	59
Vurdering af lermineralogiens betydning ved brænding	60
Alternative råmaterialer	62
Havneslam	62
Flyveaske	63
Flyveaskens kemi	63
Tørringssvind	65
Kornstørrelsesfordelingen	65
Lerblandingens konsistens	65
Brændingssvind	65
Tegltekniske egenskaber	65
Diskussion af flyveaske som tilsætning til teglværksler	66
Delkonklusion og anbefalinger	68
Slam fra Tjæreborg	68
Markedsforhold	70
Referenceliste	73
Bilagsfortegnelse	76

Sammenfatning

Indeværende rapport udgør den endelige afrapporteringen af dele af "lerprojekt 1999". Rapporten har fokus på **sammensætningen af dansk teglværksler, hårdtbrændende ler, alternative lertyper og kortlægning med stang slingram.**

Der er udført sigte- og sedigrafanalyse, kemisk analyse, lermineralogisk analyse samt en række tegltekniske analyser på 6 udvalgte danske lertyper. Desuden indgår analyseresultater af hårdtbrændende ler fra Ribe Amt, analyser af tre alternative materialer (flyveaske, slam fra grusgrave i Vestjylland (Tjæreborg) og havneslam) samt data fra litteraturen.

Det konkluderes, at lertypernes tegltekniske egenskaber primært er styret af indholdet af ler og lertypens kornkurve. Bimodale kornkurver hvor mellem- og grovsilt mangler konkluderes (i modsætning til jævne kornkurver) at give lavere bøjningstræk- og trykstyrke, uændret vægttab ved brænding, uændret længdesvind ved brænding, større minutsugning, uændret nettodensitet, større vandoptagelse samt større risiko for opblæring og smeltning. En bimodal kornstørrelsesfordeling registreres først, når der foreligger fuldstændige kornkurver. Optimering af kornkurver kan ske ved hjælp af pc-simulering i regneark af råstofblandinger i forskellige mængdeforhold.

Et højt lerindhold konkluderes at give større bøjningstræk- og trykstyrke, større vægttab ved brænding, større længdesvind ved brænding, mindre minutsugning, større nettodensitet, mindre vandoptagelse samt større risiko for opblæring og smeltning og sandsynligvis også større risiko for saltudtræk på stenen. Lertypernes vægttab ved brænding kan direkte relateres til summen af ler og finsilt, så en stigning på 8% her resulterer i 1% højere vægttab.

Na, K og delvist Ca sænker sintringstemperaturen. Ved normale brændingstemperaturer overskygges dette i nogen grad af en jævn kornkurve. Ved hårdbrændende ler skal fluxindholdet være lavt og kornkurven jævn, for at undgå smeltning og opblæring. Lertyper med lavt fluxindhold forventes at kunne lokaliseres vest og syd for hovedopholdslinien, hvor lertyperne er underlejret af alkalifattige tertiære lerforekomster, og forvitningsprocesser har pågået gennem længere tid.

Sigteanalyserne af flyveaske viser, at flyveaske befinder sig i et snævert kornstørrelsesinterval omkring mellem- til grovsilt. Netop disse kornstørrelser mangler ofte i teglværksler, hvilket resulterer i bimodale kornkurver og generelt ringere tegltekniske egenskaber. Da egentlige forekomster af mellem- til grovsilt er sjældne, anbefales det, at iværksætte yderligere forsøg med at tilsætte flyveaske til teglværksler. Det primære problem omkring flyveaske er et højt sulfatindhold.

Slam fra grusgraven ved Tjæreborg i Vestjylland er et muligt alternativt magringsmiddel. Restproduktet findes i forskellige kornstørrelser i forskellig afstand fra udledningsrøret. Der er problemer omkring vandindholdet i restproduktet, der skal løses. Havneslam har et højt indhold af flygtige tungmetaller som kviksølv og cadmium, hvilket kan udgøre et problem.

Forord

Til "Ierprojekt 1999" var tilknyttet en følgegruppe, der kom med gode råd og bidrag til indeværende rapport. Følgegruppen bestod af:

Andreas Blinkenberg (Sønderjyllands Amt), Hasse Clemmensen (Vedstårup teglværk), Claus Ditlefsen (Dansk Geofysik), Lise Holm (Skov- og Naturstyrelsen), Flemming Jacobsen (Skov- og Naturstyrelsen), Gunnar Larsen (Fyns Amt), Niels Peder Mortensen (Nordjyllands Amt) og Lene Vissing (Murværkscentret).

Christian Knudsen (GEUS) har været tilknyttet projektet ved dets start, og har gennem hele projektforsøget været behjælpelig med gode råd og vejledning. Desuden har Vibeke Ernsten (GEUS) og Peter Gravesen (GEUS) medvirket.

Indledning

Denne rapport er udarbejdet i forbindelse med GEUS og Skov- og Naturstyrelsens lerprojekt 1999.

Det overordnede mål med rapporten er, at opnå et stærkt forbedret og rimeligt dækkende kendskab til danske lerbjergarter og mulige alternative materialer, som anvendes eller potentielt kan anvendes i forbindelse med teglproduktion.

En væsentlig del af projektet har bestået i indsamling af data og viden om først og fremmest de geologiske råstoffer, som i dag anvendes i teglproduktion og alternative materialer, der fremover kan tænkes anvendt i forbindelse med teglproduktion.

Rapporten er udarbejdet på baggrund af tilgængelig litteratur, eksisterende data, besøg på en række teglværker, interview med en række personer med tilknytning til branchen, analyser af råler og færdige lerblandinger fra en række teglværker, analyser af 6 udvalgte lertyper samt analyser af alternative materialer.

GEUS og Skov- og Naturstyrelsens arbejde med vurdering af lerressourcerne blev indledt i 1998 med erfaringsindsamling vedrørende teglværksler i almindelighed samt specifik kortlægning af en lertype i Ribe Amt anvendelig som hårdtbrændende ler. Arbejdet med hårdt-brændende ler er fortsat i 1999 i samarbejde med Ribe Amt og med to private teglværker.

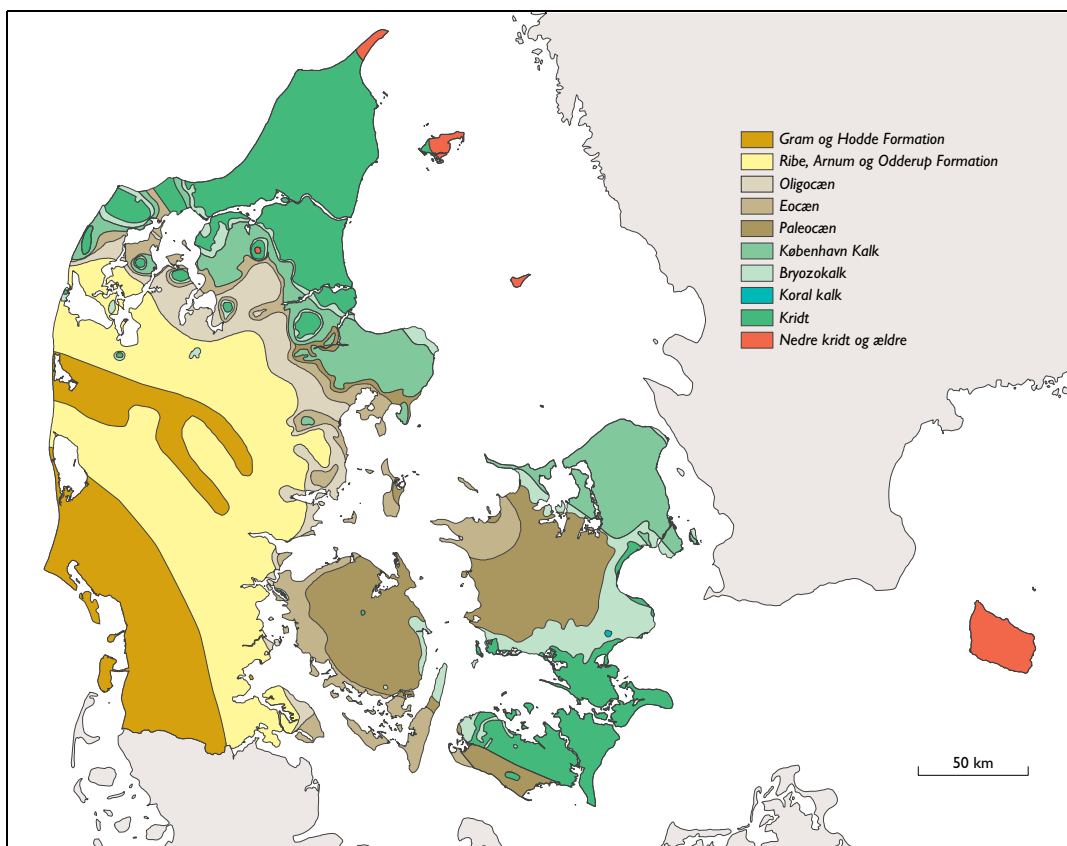
Murværkscentret arbejder løbende med lerundersøgelser, og deres viden samt konkrete undersøgelser af en række lertyper vil blive inddraget i en samlet vurdering af materialer anvendelige til teglbrænding.

De danske lerbjergarter

Der anvendes en lang række forskellige lertyper til teglproduktion, ler med forskellig geologisk alder, dannelsesmiljø og sammensætning.

Geologisk set betragtes ler som en bjergart, det vil sige, at ler består af forskellige ler- og andre mineraler i varierende mængdeforhold. Den mineralogiske og kemiske sammensætning er sammen med kornstørrelsesfordelingen bestemmende for bjergartens keramiske anvendelsesmuligheder. Lerbjergarterne kan beskrives som formbare i naturfugtig tilstand og formbevarende i tør tilstand. Lermineralerne udgør dog ofte under halvdelen af bjergarten, ligesom den andel der kornstørrelsmæssigt falder i lerfraktionen, det vil sige $< 2 \mu\text{m}$ (0,002 mm), vil udgøre en mindre del af bjergarten. Den del af bjergarten, der ikke udgøres af lermineraler består væsentligst af kvarts, feldspat, calcit (kalk), glimmer, svovlkis og jernoxider (Ditlefsen 1988). Mængden af og forholdet mellem disse mineraler er ligeledes af stor betydning for lerbjergartens keramiske egenskaber.

I det følgende beskrives forekomsten og sammensætningen af de forskellige danske lerbjergarter kort. En række lertyper, der tidligere har fundet udbredt anvendelse, er i dag stort set glemt ud af produktion. Dette gælder for eksempel de jurassiske (bornholmske) og de tertiære lerbjergarter. Disse medtages i denne udredning, da de eventuelt vil kunne finde anvendelse i fremtiden.



Figur 1. Geologisk kort over de prækvartære aflejringer Danmark (Knudsen 1998a).

Figur 1 viser et kort over de prækvartære aflejringer i Danmark. Det ses, at de ældste aflejringer (foruden Bornholm) findes i det nordøstligste Jylland, og at aflejringerne generelt bliver yngre mod syd sydvest.

Ler fra juratidens aflejringer på Bornholm

Bornholm adskiller sig fra resten af Danmark ved at høre til Tornquistzonen, der er grænsezonen til det finsk-skandinaviske grundfjeldsplateau. Undergrunden er løftet højere op, og består således af ældre bjergarter. På hovedparten af Bornholm består undergrunden af granit og gnejs, men på den vestlige og sydvestlige del af øen findes aflejringer fra Mesozoikum – Trias, Jura og Kridttiderne. I denne sammenhæng er specielt aflejringerne fra Jura af interesse. De jurassiske forekomster på Bornholm er inddelt i tre formationer: Rønne Formationen, Hasle Formationen og Bagå Formationen. Herudover er kaolinforekomsterne ved Rønne af interesse.

Kaolin

I slutningen af det 18. århundrede påbegyndtes fremstilling af porcelæn fra kaolin udtaget i en række grave, der fandtes i et ca. 3 km langt og ca. 100 m bredt bælte 2 km øst for Rønne. Kaolinen forekom som et lokalt, over 50 m mægtigt lag, dannet ved kemisk forvitring af feldspat i grundfjeldet, hovedsagelig Rønne granit. Forekomsten kan inddeles i in situ forvitret grundfjeld, hvori de oprindelige strukturer stadig kan anes, og en mindre del, der består af grålig kaolin udvasket fra den forvitrede overflade og aflejret i lavninger (Gry 1977). Hvor udgangsbjergarten er granit, er kaolinen hvid. Kvartskornene påvirkes ikke af den kemiske forvitring og ligger jævnt fordelt i bjergarten på samme måde som de lå oprindeligt. Grønlig kaolin dannet ved kemisk forvitring af diabasgange ses lokalt (Gry 1977). Da kaolinforekomsterne ikke indeholder fossiler, er alderen ikke bestemt, men delvist kaolinitiserede granitblokke i lag fra Mellem Jura viser, at forvitringen som minimum er af mellem jurassisk alder.

Fremstillingen af porcelæn er forlængst ophørt, da kaolinen bl.a. på grund af et højt indhold af titan giver en grå farve. Siden har kaolinen været brugt som tilslag til andre lerbjergarter for at give disse en højere sintringstemperatur ved fremstilling af f.eks. ildfaste sten. Efter ophør af denne anvendelse, anvendes kaolinen nu kun som tilslag ved fremstilling af hvid cement. Mængden og kvaliteten af de resterende kaolinforekomster i området er ikke kendt.

Rønne Formationen og Hasle Formationen

Rønne Formationen er ældst og underinddelt i tre led: Munkerup Led, Sose Bugt Led og Galgeløkken Led. Af disse har Munkerup Led størst interesse, da aflejringerne er domineret af ler. Dette optræder med forskellige kraftige farver, er aflejret i en sø og har et højt indhold af fossilt plantemateriale (Gravesen 1996). Dette ler har været udnyttet til keramisk produktion og er interessant ved at have et højt kaolinitindhold på 50% til 80% og et meget ringe indhold af illit (Graff-Petersen 1961). Det kan nævnes, at lagene er påvirket

af forkastningsaktiviteten i området så de ofte hælder. Den rumlige geometri af forekomsterne kan derfor være vanskelig at forudsige. Sose Bugt Led og Galgeløkken Led samt Hasle Formationen består af vekslende lag af sand, silt og ler og har ikke den store interesse i teglværksmæssig sammenhæng.

Bagå Formationen

Størstedelen af produktionen af klinker, ildfaste sten og andre keramiske produkter på Bornholm har været baseret på forekomsterne tilhørende Bagå Formationen. De største lermængder er taget fra graven ved Bagå syd for Hasle. Bagå Formationen er opbygget af en serie ensartede op til 10 m mægtige sekvenser af fin- til mellemkornet sand overlejret af op til 7 m mægtige lerlag, der igen overlejres af kul. Leret fremtræder i lysegrå til mørkegrå farver og har et varierende indhold af planterester (Gravesen 1996). Også her er lagene forstyrret af forkastnings- og foldningsaktivitet. Bagå Formationen består ligesom Munkerupleret af illit, veksellagsminerale og kaolinit (Graff-Petersen 1961), men er karakteriseret ved et lavere indhold af kaolinit sammenlignet med Munkerupleret. Leret er desuden karakteriseret ved et meget ringe indhold af smectit. Graff-Petersen (1961) finder i øvrigt, at der er en klar sammenhæng mellem indholdet af illit og veksellagsminerale og indholdet af kalium, så kaliumindholdet er lavt, hvor der er et højt kaolinitindhold.

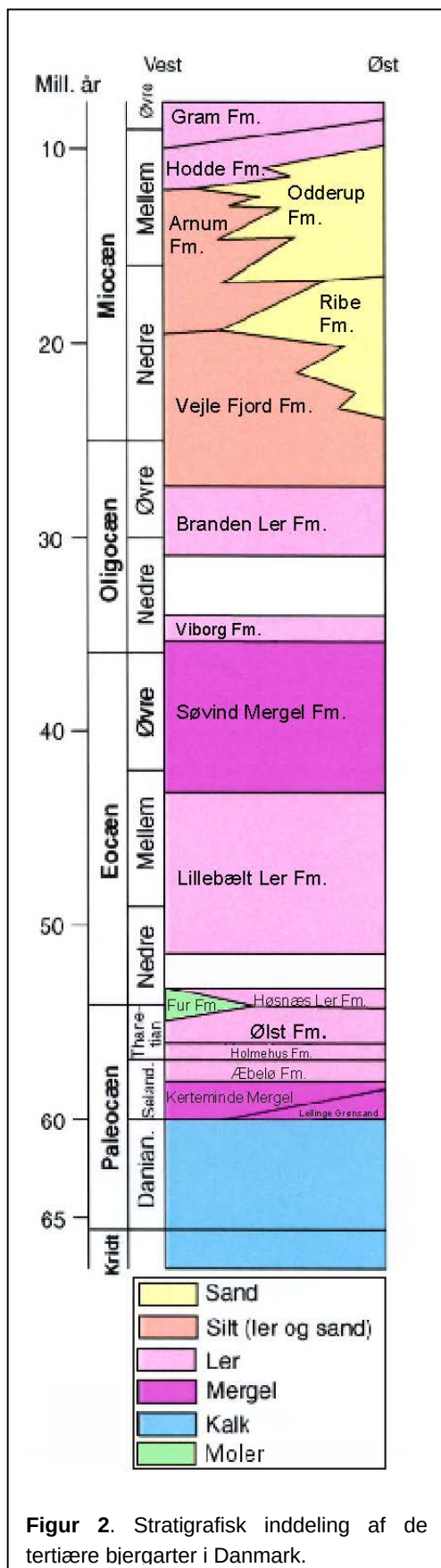
Der findes ikke publicerede opgørelser over de eksisterende reserver af ler i området, men der er gennem tiden indsamlet en del oplysninger om forekomsterne ved borerier.

Danske lerbjergarter fra tertiærtiden

De tertiære lerbjergarter i Danmark er aflejret i tidsrummet Paleocæn til Miocæn der strækker sig fra ca. 60 mio. til 5 mio. år før nu, se figur 2. Store dele af Danmark var i denne periode dækket af hav, og i dele af dette blev der afsat finkornede, lerdominerede aflejringer. Sammensætningen af leret varierer blandt andet med afstanden til kysten på aflejringstidspunktet, oprindelse og art af det materiale, der skylles ud af floderne samt eventuelt bidrag af forvitret vulkansk aske. Generelt er periodens aflejringer afsat i stillestående vand og har et højt men varierende indhold af ler, organisk materiale og svovl.

Vurdering af tertiærtidens lerarter til lerbrænding

Der har tidligere været en del teglværker, der brugte tertiært ler som råmateriale. Langt de fleste af disse er nu nedlagt og det tertiære ler anvendes kun på få værker, og her som en mindre del af råleret. Det har fortrinsvis været det Miocæne Gramler, der har været anvendt i Vest- og Sønderjylland og det Oligocæne Brandenler, der har været anvendt i Midtjylland. De tertiære lerbjergarter er inddelt i en række geologiske formationer, se figur 2. Disse formationer kan kort karakteriseres på følgende måde:



Kerteminde Mergel er en lysegrå ofte ca. 10 m mægtig grå bjergart bestående af ler og calcit – ca. halvt af hvert. 10 m til 140 m mægtig.

Æbelø Formationen består af mørkegråt smectit-domineret ler med varierende kalkindhold. Denne undersøges pt. sammen med Holmehus- og Ølst Formationens lerbjergarter for potentiale som bentonit.

Holmehus Formationen består af grønligt, blåligt og brunligt, kalkfrit ler. Bjergarten er domineret af smectit, der ofte udgør over 90% af lerfraktionen. Mægtigheden varierer fra ca. 4 m ved Ølst til ca. 40 m ved Odder.

Ølst Formationen inddeles i en nedre og en øvre del. Den nedre del består af mørkegråt, kalkfrit, lamineret ler med højt svovlindhold. Den øvre del består af siltet, kalkfrit ler med vulkanske askelag. Lerfraktionen er domineret af smectit (60% til 90%). Produktionen af letklinker i Ølst og Hinge er hovedsageligt baseret på ler fra Ølst Formationen. Ølst Formationen er ca. 10 m til 30 m mægtig.

Fur Formationen udgøres af moler på Fur og Mors. Moler består af kiselalger, diatoméer samt smectit. Mægtigheden er ca. 55 m. Moler finder anvendelse i forskellige molerprodukter.

Røsnæs Ler Formationen er en rød, kalkholdig, plastisk ler domineret af smectit (70% til 80%) med vulkanske askelag. Formationen er 3 m til 28 m mægtig.

Lillebælt Ler Formationens nedre del består af grønligt til rødbrunt, kalkfrit, plastisk ler med stort set lige dele smectit, illit og kaolinit. Den øvre del af formationen er grønliggrå, svagt kalkholdig ler domineret af smectit (ca. 60%). Mægtigheden er 40 m til 70 m.

Søvind Mergel Formationen er en lysegrå til hvid mergel med et kalkindhold på ca. 20% til 50% og en mægtighed på 5 m til 50 m.

Viborg Formationen er en grågrøn, kalkfri, fed ler med lys glimmer og et vist siltindhold, der stiger op gennem formationen. Mægtigheden er 50 m til 85 m. Grundfør teglværk, der nu er nedlagt, fik ler fra denne formation samt fra Branden Leret.

Branden Ler Formationen er gråt til svagt grønligt ler med et moderat indhold af lys glimmer og silt. Mægtigheden er ca. 40 m til 80 m. Leret indeholder hårde kalkkonkretioner, de såkaldte septarier, hvorfor leret er blevet kaldt septarieleret. Branden, Hesselbjerg og Sofienlund teglværker har fået ler fra denne formation og Højslev Teglværk får stadig noget ler herfra.

Vejle Fjord Formationen består af lag af siltet ler og leret silt, vekslende med silt og glimmersandlag. Lilleborg Leret hører til denne formation. I Limfjordsegnene har denne formation gået under betegnelsen Sofienlund Formationen efter blotninger i Sofienlund Teglværksgrav.

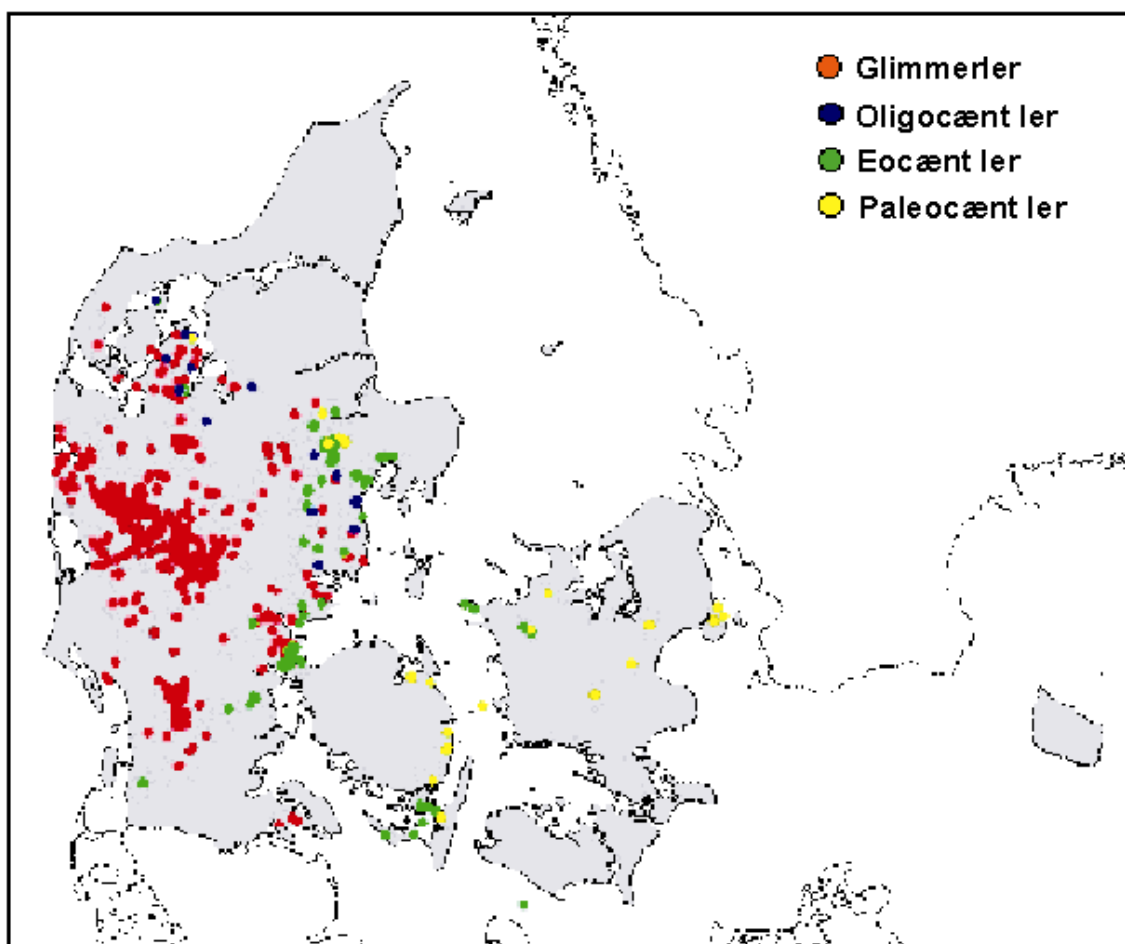
Arnum Formationen består af vekslende lag af brunt glimmerler, glimmersilt og glimmersand.

Odderup Formationen består af vekslende lag af fedt glimmerler, kvartssand og grus.

Hodde Formationen består af sort glimmerler med et højt indhold af organisk materiale på 3% til 20% og svovl på 2% til 3% (Dinesen 1975). Mægtigheden af Hodde Formationen er ca. 12 m.

Gram Formationen består af mørkt glimmerler med et højt indhold af organisk materiale på 2% til 4% og svovl på 1% til 2% (Dinesen 1975). Denne formation har sit navn fra Gram Teglværk. Mægtigheden er ca. 20 m.

Den geografiske beliggenhed af borer med ler fra Paleocæn, Eocæn, Oligocæn og Miocæn med mindre end 5 m overjord er vist på figur 3. Det skal bemærkes, at de tertiære lerforekomster ofte forekommer forskudt og foldet af isen som glacigene flager.



Figur 3. Tertiære lerbjergarter i Danmark med mindre end 5 m overjord. Kortet er baseret på data fra JUPITER boringsdatabasen på GEUS.

Den mineralogiske udvikling af tertiærtidens lerarter

De danske leraflejringer fra tertiærtiden er hovedsageligt domineret af fjerntransporteret erosionsmateriale fra de skandinaviske fjelde. Som følge af tektonisk aktivitet er de skandinaviske fjelde hævet i forskellige tempi i en størrelsesorden på ialt 1-2 km i løbet af tertiærtiden (Jensen og Michelsen 1992). Det er således forskellige geografiske områder, der har været udsat for erosion i de forskellige tidsperioder i tertiærtiden, og det er sandsynligvis dette, der har givet ophav til en udvikling i den lermineralogiske sammensætning i det danske tertiær, se figur 4.

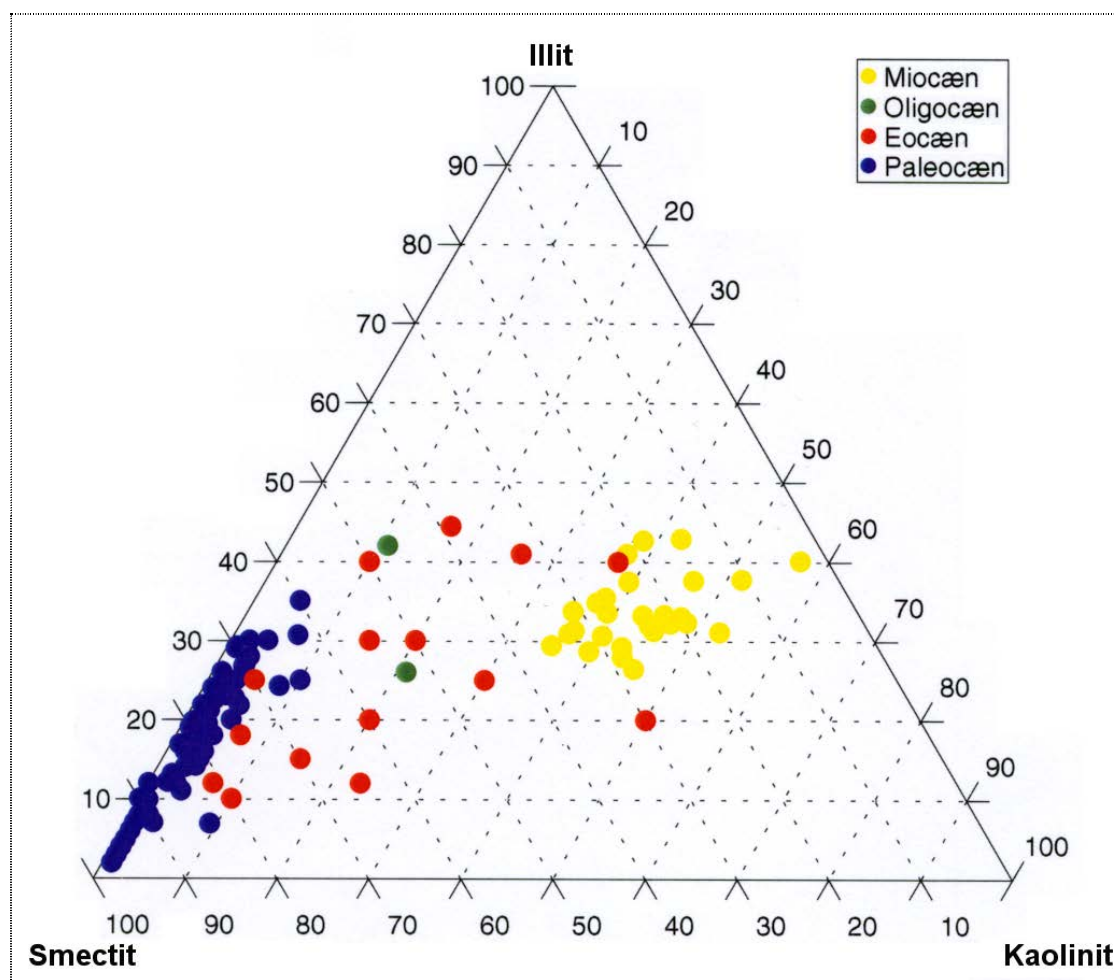
De hyppigst optrædende mineraler i tertiære lerforekomster i Danmark ses i tabel 1.

Mineral	Formel
Kvarts	SiO_2
Feldspat	$(\text{K}, \text{Na}) \text{AlSi}_3\text{O}_8$ og $(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Al}, \text{Si})_3\text{O}_8$
Calcit	CaCO_3
Lermineraler og glimmer	
Pyrit	FeS_2

Tabel 1. De hyppigst optrædende mineraler i tertiærtidens lerarter i Danmark.

Mineralerne optræder i forskellig hyppighed i forskellige kornstørrelser, så indholdet af kvarts i sandfraktionen er højt, ca. 80%, og aftager stærkt ned gennem siltfraktionen (Ditlefsen 1988). Indholdet af feltspat ligger på ca. 15% til 30% i sand- og siltfraktionen. Calcitindholdet er størst i finsilt og lerfraktionerne og stærkt afhængigt af, om leret er forvitret (< 2%) eller uforvitret (10% til 20%). Indholdet af lermineraller i lerfraktionen er ofte 50% til 90%, med det største indhold i finlerfraktionen. Pyrit optræder i det uforvitrede ler, hvor det ofte findes i finsiltfraktionen, men pyrit kan i det tertiære ler også optræde i sandfraktionen.

Der ses en stor variation af mængdeforholdet mellem lerminerallerne i de tertiære lerbjergarter i Danmark med en dominans af smectit i de ældste formationer af Paleocæn, Eocæn og Oligocæn alder (Heilmann-Clausen 1995, Mikkelsen 1989, Pedersen 1992, Friis 1994). Smectitindholdet falder gradvist gennem tertiærtiden. I Øvre Oligocæn sker der et skift imod dominans af illit og kaolinit (Andersen 1989, Rasmussen og Larsen 1989), se figur 4.

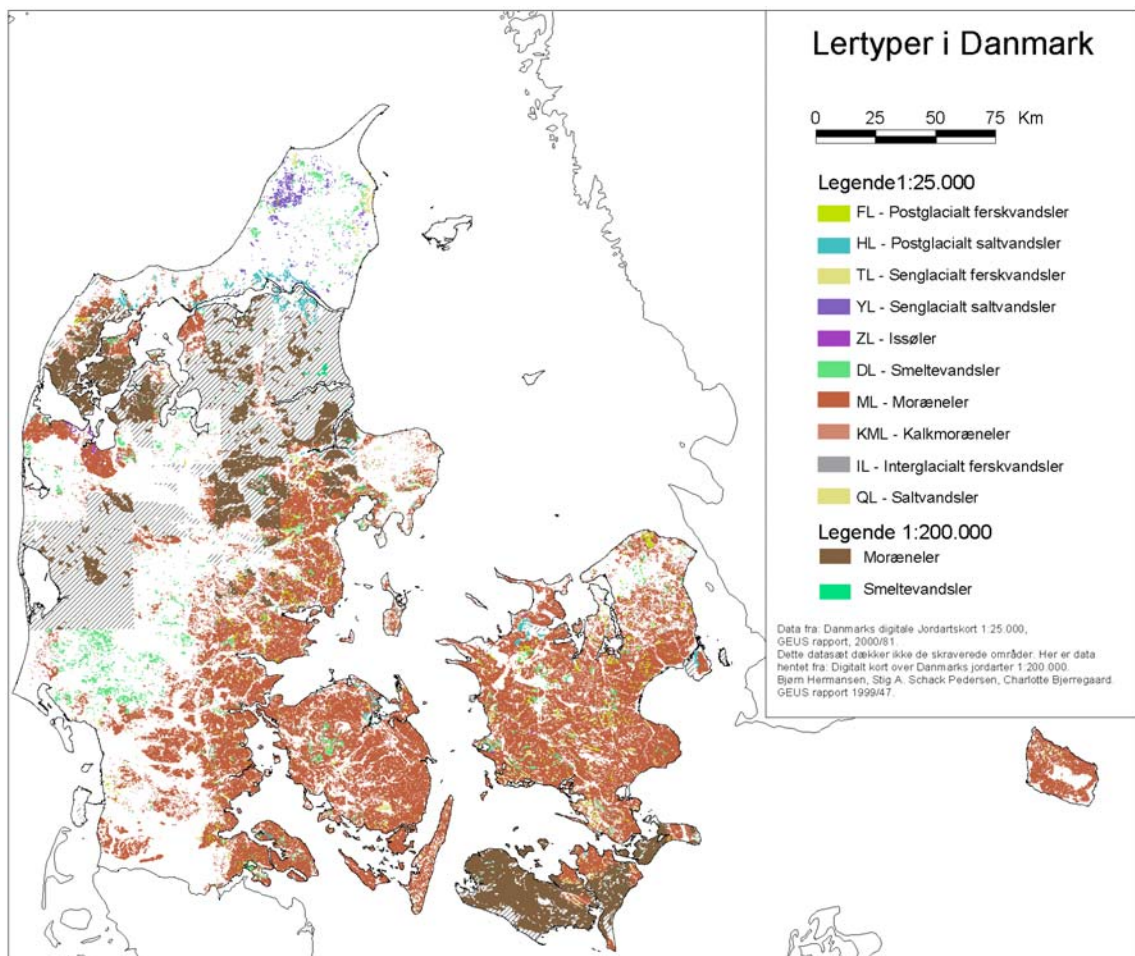


Figur 4. Trekantsplot af gennemsnitsindholdet af smectit, illit og kaolinit i de danske tertiære lerbjergarter. Farvede signaturer: blå = Paleocæn, rød = Eocæn, grøn = Oligocæn og gul = Miocæn. Data fra Heilmann-Clausen (1995), Friis (1994), Mikkelsen (1989), Pedersen (1992), Andreassen (1989), Rasmussen og Larsen (1989).

Kvartærtidens leraflejring

Hele Danmark har talrige gange været dækket af is i Kvartærtiden. Kvartærtiden startede for ca. 2,5 mio. år siden og har i modsætning til tertiærtidens mere rolige og stabile sedimentationsforhold været præget af hurtigt skiftende miljøer på grund af gentagne klimaforandringer, der startede i slutningen af tertiærtiden (Houmark-Nielsen og Sjørring 1991). Aflejringerne fra kvartærtiden dækker næsten hele Danmarks overflade og er langt de mest betydende for teglværksindustrien.

En række sedimenter er knyttet til istiden. Disse omfatter blandt andet moræneaflejringer, smeltevandssand og -grus, issøsedimenter og ishavssedimenter.



Figur 5. Fordelingen af lertyper med kvartær oprindelse i Danmark. Data fra Hermansen og Jakobsen (2000) og Hermansen et al. (1999).

Kortet på figur 5 viser en række forskellige lertyper af kvartær oprindelse i Danmark. Kortet er desuden vedlagt som bilag 1 i målestok 1:500.000. Kortet viser lertyperne: Postglacialt ferskvandsler, postglacialt saltvandsler, senglacialt ferskvandsler, senglacialt saltvandsler, issøler, smeltevandssler, moræneler, kalkmoræneler, interglacialt ferskvandsler og saltvandsler. Kortet er udarbejdet på baggrund af data fra de digitale jordartskort. Hvor data fra 1:25.000 kortet er tilgængelige er disse brugt (Hermansen og Jakobsen 2000), og for de øvrige områder af landet er data fra 1:200.000 kortet brugt (Hermansen et al. 1999).

Sidstnævnte datasæt skelner ikke mellem samme antal lertyper, hvorfor kun moræneler og smeltevandsler er medtaget.

På kortet ses, at morænelerdækker strækker sig fra Sjælland over Fyn til hovedopholdslinien i Jylland, der markerer isens maksimale udbredelse under den sidste istid, Weichselistiden. Der findes stedvise forekomster af smeltevandsler og ferskvandslertyper. I Nordjylland ses forekomster af såkaldt saltvandsler. Dette skyldes at Nordjylland har været dækket af et hav, der gradvist har trukket sig tilbage som følge af det omfattende samspil mellem landhævningen, isostasi, og havniveauhævning, eustasi, der fandt sted i takt med at Weichselisen smeltede tilbage.

Området vest for hovedopholdslinien kan generelt beskrives ved enkelte områder med moræneleraflejringer på de såkaldte bakkeøer, der ofte har en kompliceret stratigrafi, men primært består af moræneaflejringer fra Saale- og ældre istider. Der findes stedvist smeltevandsleraflejringer i kanten af disse bakkeøer – som eksempel kan nævnes det hårdtbrændende teglværksler, der beskrives andet steds i denne rapport. Mellem bakkeøerne er der afsat smeltevandssand fra Weichselisens smeltevandssfloder, og i mindre grad smeltevandsler.

Det gælder derfor overordnet, at de ældste kvartære aflejringer i Danmark findes syd og vest for hovedopholdslinien, og de yngste i Nordjylland.

Moræneler

Denne bjergart, der geologisk benævnes ler till, er afsat direkte fra gletscheris, typisk ved smeltning, og kendetegnes ved at være dårligt sorteret og stenholdig. Morænelerets bestanddele er dels materiale transporteret over store afstande – blandt andet fra grundfjeldsområderne i vore nordiske nabolande – og dels materiale af mere lokal karakter. Således vil moræneler nær kalkundergrunden ofte være mere kalkrig end moræneler, der ligger over leret eller sandet undergrund.

Aflejringen af moræneler er kompleks, og der findes et omfattende begrebsapparat, der beskriver de mange forskellige aflejningsprocesser og de dertil knyttede bjergarter. Materiale der transporteres med en gletscher vil potentielt være udsat for mekanisk knusning og abrasion eller slibning, hvor knusningen er mest fremtrædende fra de største partikler ned til en vis kornstørrelse, hvorefter slibningen den mest fremtrædende (Boulton 1978). Dette karakteriserer principielt moræneler med en bimodel kornstørrelsesfordeling med en top i grus- eller sandfraktionen og en top i siltfraktionen. På grund af det komplekse aflejningsmønster kan der være store variationer i morænelers kornstørrelses- og mineralsammensætning, såvel vertikalt, fra bund til top, og lateralt indenfor samme morænelerenhed, som mellem forskellige morænerenheder.

Smeltevandsler

Smeltevandsler er typisk aflejret i smeltevandssøer, hvor lerpartiklerne afsættes fra suspension. I disse søaflejringer ses ofte sand- og grusrige indslag nær en gletscherflods

munding med stigende indhold af finkornet materiale væk fra munden. Herudover ses ofte en rytmisk lagdeling i de mere finkornede sedimenter, der skyldes årlige temperaturbetingede variationer i afsmeltningen af gletscherisen. Dette kaldes varv. Smeltevandsler kan indeholde store mængder silt, og der kan forekomme enkelte sten, typisk som dropsten transporteret ud i søen med isflager.

De fleste forekomster af smeltevandsler i Danmark er dannet i forbindelse med den seneste istid, Weichselistiden, men en række forekomster i det vestlige Jylland fra Varde til Thyholm er aflejret i forbindelse med en tidligere nedisning (sandsynligvis sen-Elster, Jensen 1984).

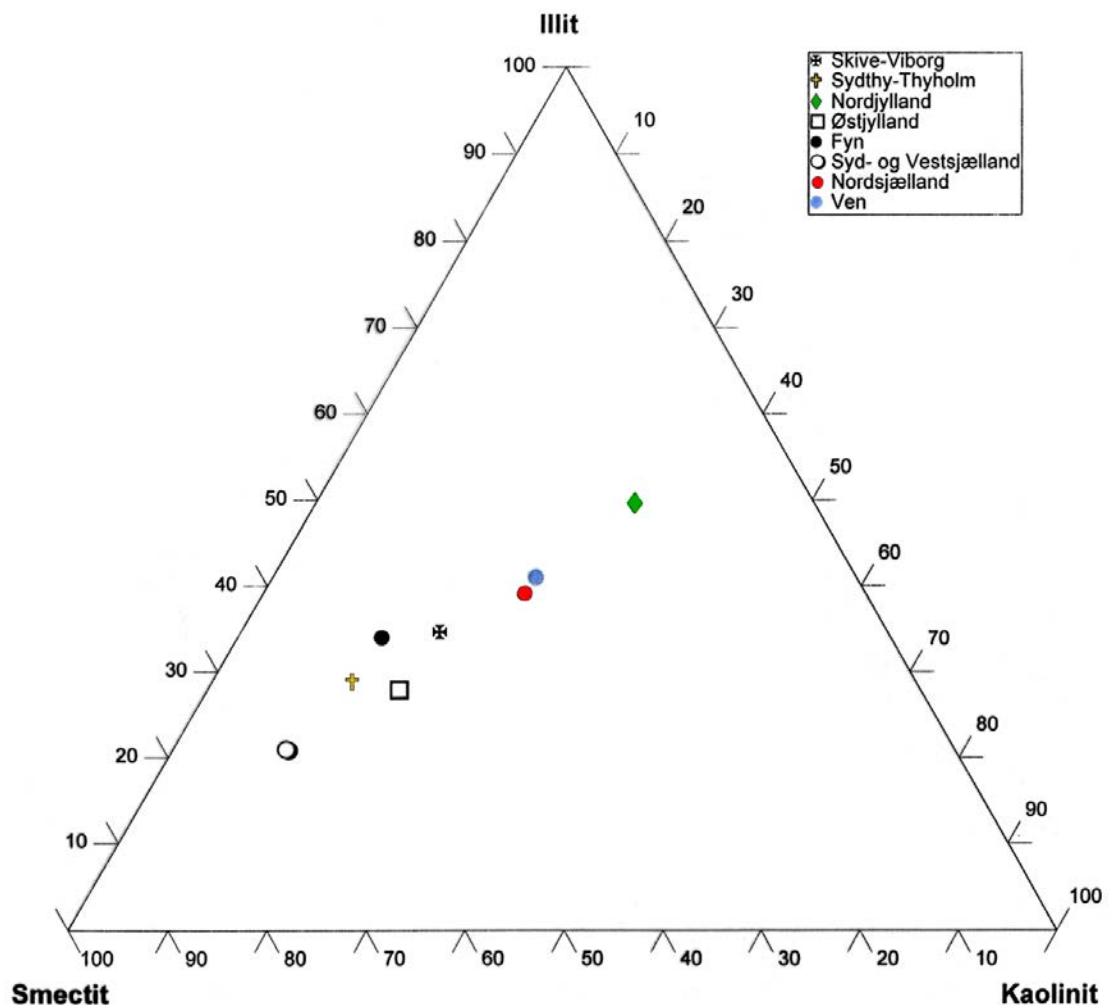
Smeltevandsler har traditionelt været den hyppigst benyttede lertype i teglindustrien.

Ishavsler

I Nordjylland blev der i de sene faser af Weichselistiden aflejret ler, særligt i perioden, hvor de lavest liggende egne i Vendsyssel var dækket af det såkaldte Yoldiahav. Dette ler er karakteriseret ved at indeholde skaller af f.eks. muslinger. Nær Esbjerg har der været indvundet ler, der er aflejret i havet i en varm periode mellem to nedisninger, den såkaldte Holstein interglacial.

Lermineralogi af kvartære aflejringer

Figur 6 viser en sammenstilling af lermineralogiske resultater af kvartære bjergarter. Alle data kommer fra litteraturen.



Figur 6. Trekantsplot af gennemsnitsindholdet af smectit, illit og kaolinit i de kvartære bjergarter fordelt på landsdele. Data fra Jørgensen (1989), Ditlefsen (1988), Hegel (1992) og Ernstsens (1998).

Fobian (1966) fandt, at illit er det hyppigst forekommende lermineral i morænemateriale på Sjælland, samt at illitindholdet stiger ned gennem jordprofilerne. Møbjerg (1975) fandt ligeledes, at illitandelen af lerfraktionen stiger nedad, hvilket er koblet med stigende kaliumindhold i lerfraktionen. Hegel (1992) har fundet regionale variationer af lermineralsammensætningen med relativt højt indhold af smectit i Østjylland sammenlignet med Nordsjælland og Nordjylland. Ernstsens (1998) har ligeledes vist, at lermineralselskaberne varierer regionalt på Sjælland og Fyn. Ernstsens (1998) fandt, at smectit er det hyppigst optrædende lermineral, og at enten veksellagsmineraller eller illitmineraller er de næsthypigst forekommende lermineraller. Såvel Jørgensen (1989) som Ditlefsen (1988) har undersøgt en række lerforekomster i Viborg Amt, og finder at smectit også her er det hyppigst optrædende, med illit som det næsthypigst forekommende. Dette er ligeledes tilfældet i en række lerforekomster i den østlige del af Sønderjyllands Amt (Sønderjyllands Amt 1998). Dette stemmer godt overens med sammensætningen af de tertiære lerbjergarter i de østlige og nordlige egne af Danmark, der er domineret af smectit og illit (Tank 1963, Heilmann-Clausen 1995). Kun i de bornholmske lerforekomster (Graff-Petersen 1961) samt i Gramleret (Bacher et. al. 1986 og Rasmussen og Larsen 1989) er der observeret højt indhold af kaolinit.

Teglfremstilling

Gravning og forbehandling

Råleret indvindes typisk ved hjælp af slæbeskovmaskiner eller hydrauliske gravemaskiner, der skræller leret af over en passende strækning. Derved påbegyndes homogeniseringen af leret allerede i lergraven. Leret læsses på dumpere eller lastbiler og køres til teglværket.

De fleste teglværker anvender forskellige lertyper fra flere forskellige grave f.eks. moræneler og smeltevandssler, og leret læsses da af i forskellige bunker ved teglværket. Disse er ofte placeret under åben himmel, men en del værker har opført overdækkede lagerhaller for at være uafhængige af vejret. Herfra fødes leret til en overdækket grube, en såkaldt lersump, ofte med gummihjuls læsser via en eller to "kassefødere" og transportbånd.

Leret lagres i lersumpen så man har en buffer og derved er uafhængig af vejrliget. Desuden sker en yderligere homogenisering i lersumpen ved at leret fordeles i vandrette lag og tages til videre forarbejdning i en retning, der skærer lagdelingen.

Den første bearbejdning af leret foretages i forælteren, hvor knive placeret på en langsgående aksel dels bearbejder leret og dels fører det videre fra fødekassen til den videre bearbejdning. Forælteren er ofte det sted, hvor der tilsættes forskellige komponenter, der skal justere lerets konsistens, f.eks. knust, tørret rå tegl for at tørre leret, vand for at øge plasticiteten, sand som magringsmiddel, savsmuld for at lette tørrings- og brændingsprocessen, bariumcarbonat for at binde sulfat eller mangan for at farve.

Fra forælteren føres leret ofte til et valseværk. Inden valseværket kommer leret evt. gennem en såkaldt kollergang, hvor to tunge hjul monteret på en vandret roterende aksel kører rundt på en vandret, cirkulær stålplade med cm store cirkulære eller aflange huller, der består af en eller to stålvalsepar med successivt mindre apertur.

Hvor der anvendes moræneler ses ofte et stenudskillende valseværk, der ved hjælp af skrueformede forhøjninger på valserne skubber sten ud til siden. Valseværkerne fjerner eller knuser sten og kalkkorn.

Herfra går leret til formning. For at øge lerets formbarhed og lette bearbejdningen varmes det ofte op under bearbejdningen til ca. 30-35°C ved hjælp af damp eller gasbrændere.

De bornholmske lerbjergarter, der blev brugt til fremstilling af klinker, er blandt andet karakteriseret ved et højt indhold af fossilt træ og brunkul. Da dette kan give misfarvning af produktet ved fremstilling af keramiske sten blev det brændt før formningen af leret. Herefter blev leret formalet og lagret i silo. Farven af de færdige klinker blev styret ved tilsætning af forskellige pigmenter: Manganoxid - sort; titanoxid - gul; og jernoxid - rød

(Sivertsen 1997). Der blev både produceret tør- og vådpressede klinker. De vådpressede sten blev formet i en strengpresse og tørret i tørrekamre.

Formning

Ler er kendetegnet ved dets formbarhed, hvilket skyldes indholdet af lerminerale. Geologer kender ler i felten på, at man kan lave elefanter af det, hvilket man kan, når lerindholdet er over 15%.

Teglprodukterne formes i de danske teglværker i fugtig tilstand, hvor man i udlandet, f.eks. i England, ofte anvender tørpresning.

Håndstrygning

Håndstrøgne sten formes i en træramme, hvori leret manuelt presses ned og overskydende ler stryges af, hvorefter de formede sten vendes ud. Ved fremstilling af håndstrøgne mursten anvendes ler æltet med forholdsvis meget vand.

Strengpresning

Ved denne proces frembringes de såkaldte maskinsten. Leret presses ved hjælp af en snegl gennem et mundstykke, der har stenens længde og bredde, så stenen kan skæres af i den ønskede tykkelse. Mundstykket kan eventuelt være forsynet med indsats, der giver stenene huller.

Blødstrygning

Denne proces svarer til håndstrygning blot sker processen i en maskine, der presser leret ned i en form og afsætter stenen på lægter til tørring.

Tagsten

Falstagsten formes i en gipsform mens vingetagsten formes i en strengpresse og skæres i form på et afskærerbord.

Tørring

Efter formningen har leret typisk et vandindhold på 20% til 30% og må derfor tørres før det kan brændes. Dette sker i en tørreovn, der ofte bliver opvarmet af returvarme fra ovnen eller de brændte sten, der står til afkøling. Tørringen sker ofte i store kamre, hvor temperatur, luftfugtighed og luftgennemstrømning kan reguleres, så hastigheden af tørringen kan styres. Tørringen på stenens overflade skal ske i takt med den hastighed

vandet transporteres fra stenens indre til dens overfladen. Sker tørringen for hurtigt svinder de ydre dele hurtigere end kernen og der opstår risiko for revnedannelse.

Under tørringen bliver stenen mindre, det såkaldte tørresvind, og det er af afgørende betydning, at dette holdes indenfor nøje fastsatte grænser, så den tørrede og senere brændte sten overholder de fastsatte mål.

Vandet i leret forekommer på følgende former:

- Frit i porer
- Som vandfilm om kornene
- Adsorberet på partiklerne
- Bundet i lermineralernes struktur

Jo federe leret er, desto mere vand kan det indeholde, og desto større tørresvind vil der opstå. Når leret tørres vil det frie vand i porerne være det første der fordamper, transporteret til stenoverfladen af kapilærkræfterne. Dernæst vil vandfilmene omkring partiklerne fordampe og sidst vil det vand, der findes i porøse korn fordampe. Tørresvindet skal normalt ligge mellem 2% og 7% (Falk og Krejbjerg 1991).

Lerbrænding

Brændingen af de tørrede sten foregår ofte i såkaldte tunnelovne, hvor de stablede sten føres gennem ovnen på vogne. Under brændingen, der normalt tager 2-3 døgn, sker en række fysiske og mineralogiske ændringer i stenene ved forskellige temperaturer, hvorfor det er vigtigt, at stenedes passage gennem ovnen og brændingstemperaturen er nøje overvåget.

Ved 200°C til 300°C fordamper det vand, der er bundet i porerne og sidder som vandfilm og adsorberet på kornene. Dernæst forsvinder det vand, der er mineralogisk bundet i lermineralerne. Dette er typisk væk ved ca. 500°C.

Ved 573°C under atmosfærisk tryk ændrer mineralet kvarts atomstruktur fra α -kvarts til β -kvarts (Klein and Hurlbut 1993). Dette kaldes kvartsspringet og giver en rumfangsudvidelse på ca. 1%. Processen er reversibel, det vil sige, at den sker modsat under afkøling af stenen. Da rumfangsændringerne giver spændinger i stenen er det særlig vigtigt at kunne styre temperaturen omkring kvartsspringet, og så vidt muligt have samme temperatur øverst og nederst i ovnen.

Ved 550°C til 750°C sker nedbrydningen af tilstedeværende kalk, CaCO_3 , under afgivelse af CO_2 . Nedbrydningen sker teoretisk set ved 894,4°C under atmosfærisk tryk. At den i praksis er lavere tolkes som tegn på, at nedbrydningen sker gennem komplekse reaktioner med nedbrudte lermineraler (Konnerup Madsen 1989).

Ved ca. 500°C til 600°C nedbrydes lermineralet kaolinit efterfulgt af glimmer, illit og smectit ved 700°C til 900°C (Konnerup Madsen 1989).

I takt med nedbrydningen af mineraler dannes smelte i leret, hovedsageligt ved kornkontakterne således, at leret begynder at "sintre". Under sintringen dannes dels denne smelte, der siden bliver til glas, og dels nye mineraler. Dansk tegl indeholder typisk 30% til 50% glas og 5% til 15% nydannede mineraler (Jensen 1978).

Af nydannede mineraler i rødbrændende sten kan nævnes hæmatit (Fe_2O_3), der giver stenen den røde farve (Jensen 1978 og He, in press). Indholdet af hæmatit i røde sten ligger i størrelsesordenen 3% til 5% (Konnerup Madsen 1989).

I gulbrændende sten bindes jern (Fe) med Ca fra den nedbrudte kalk i clinopyroxener (hedenbergit jf. Jensen 1978 eller fassait jf. He, in press). Derved dannes ikke hæmatit og stenen bliver derfor ikke rød. Herudover dannes der wollastonit og eventuelt gehlenit.

Forholdet mellem mængden af glas og nydannede mineraler bestemmes af rålerets mineralogiske sammensætning og kornkurve. Ved stigende temperatur øges mængden af smelte og nydannede mineraler. Den færdige stens porøsitet falder og styrken øges jo højere temperatur den er brændt ved. Hvis mængden af smelte overstiger 30% til 50% taber stenen sin form og der vil optræde sammensmeltninger. De fleste danske lerbjergarter har således optimale brændingstemperatur omkring 950°C til 1050°C. De lerbjergarter og lerblandinger, der egner sig til klinkefremstilling kan dog brændes ved højere temperaturer f.eks. brændes der på Bornholm og på Villemoes Teglværk ved temperaturer, der ligger væsentligt over de normale ca. 1050°C.

Kvalitet

Da smelten fortrinsvis dannes i kornkontakter – og da det er den af smelten dannede glas, der binder det færdige tegl sammen, er det af betydning for stenens styrke, at der er så mange kornkontakter som muligt. Dette opnås ved at leret inklusiv silt- og sandfraktionen har en jævn kornkurve (Ditlefsen 1988), hvilket giver den bedste pakning af kornene.

Geofysisk kortlægning

Ved kortlægning af lerforekomster tages der ofte udgangspunkt i de geologiske jordartskort som figur 6 (dog i større målestok), hvilket giver et godt overblik over hvilke lertyper der findes hvor. Inden en borerunde påbegyndes, kan man med fordel lave en geofysisk kortlægning for at optimere borearbejdet. En geofysisk kortlægning som beskrevet i det følgende er relativt omkostningslav og giver et godt billede af en lerforekomsts afgrænsning og litologiske ensartethed.

Den geofysiske metode som belyses nedenfor, er én blandt flere geofysiske metoder, der kan bruges til kortlægning af teglværksler. GEUS sammenstiller en rapport med titlen "Efterforskningsmetoder og stang slingram", der er suppleret med andre metoder til lerkortlægning.

Stang slingram

Stang slingram er et elektromagnetisk geofysisk instrument, der måler jordens tilsyneladende specifikke elektriske ledningsevne. Der findes forskellige stang slingram instrumenter. GEUS anvender et stang slingram instrument af mærket CM-031, se figur 7, mens Dansk Geofysik anvender et instrument af mærket EM 38.



Figur 7. CM-031 instrumentet. Fotoet til venstre viser CM-031. Instrumentet er 4,5 m langt. I midten sidder en minicomputer til aflæsning og opsamling af data. Fotoet til højre viser den typiske måleopstilling, hvor instrumentet bliver båret i et bælte omkring hoften. Foto: Henrik Vosgerau, GEUS.

Indtrængningsdybden for CM-031 er ca. 6 m mens indtrængningsdybden for EM 38 er ca 1,5 m (Ditlefsen 2000).

Jordlagenes elektriske ledningsevne afhænger primært af koncentrationen af opløste salte i porevandet samt mængden og typen af lerminerale. Således har tør sandjord en lav ledningsevne, mens fede lerjorde og jorde med salt porevæske har en høj elektrisk ledningsevne (Skov- og Naturstyrelsen 1987).

Den generelle sammenhæng mellem litologi og elektrisk ledningsevne er vist i tabel 2. Man skal bemærke, at hvor der ikke er tale om en ensartet lagpakke i hele måledybden bliver

den målte specifikke elektriske ledningsevne et resultat af flere jordlag med forskellig ledningsevne.

Litologi	Specifik ledningsevne (mS/m)
Sand	0-10
Ler stærkt sandet	10-20
Ler svagt sandet til sandet	20-30
Ler svagt siltet	30-50
Ler, fedt	>50

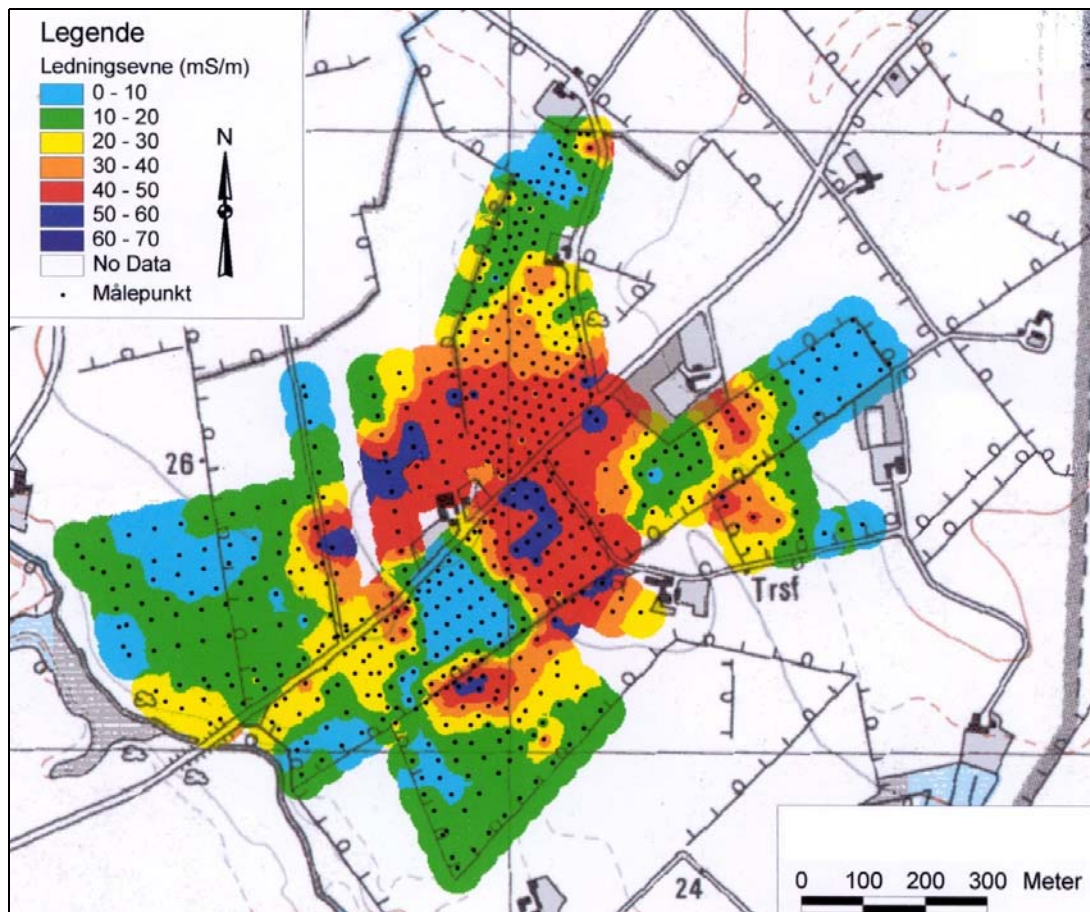
Tabel 2. Generel sammenhæng mellem litologi og elektrisk ledningsevne.

Stang slingram metodens anvendelighed ved lerefterforskning vises her ved et eksempel fra en geofysisk kortlægning med efterfølgende borerer fra et område i Vestjylland.

Eksempel på kortlægning med stang slingram

Kortlægningen blev udført med personbåret CM-031. Positioneringen af målepunkterne blev foretaget med GPS af mærket Garmin GPS12, hvilket i praksis giver positionens UTM koordinater med en nøjagtighed på 2-3 m i løbet af få sekunder. Da der var højt korn på markerne på måletidspunktet, blev målingerne foretaget i sprøjtesporene med ca. 25 m mellem hver måling.

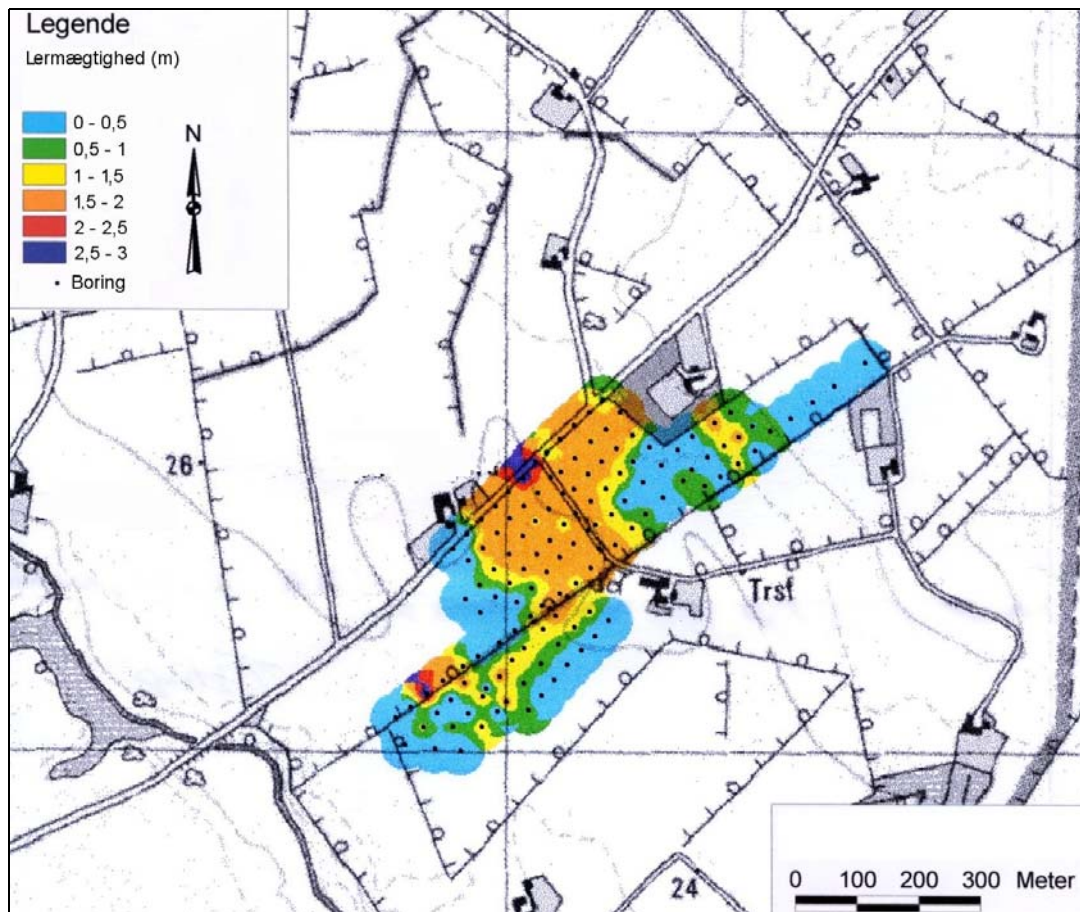
Resultaterne er efterfølgende behandlet ved hjælp af GIS og vist i figur 8.



Figur 8. Resultatet af 2 feltdages stang slingramkortlægning.

De røde farver på kortet angiver områder med højeste specifikke ledningsevne og derfor også områder, hvor sandsynligheden for at anbere ler er størst. De blå områder angiver specifikke ledningsevneværdier på 0 - 10 mS/m, det vil sige områder, hvor der forventes at være sand. Der ses et stort sammenhængende område midt på kortet med høj specifik elektrisk ledningsevne.

Den efterfølgende borerunde blev foretaget i marken sydøst for den nordøst-sydvestgående vej, da der på nordvestsiden af vejen dels var kortlagt lerforekomster og dels ikke kunne bores pga. afgrøder. Der blev udført ialt 132 borer til ca. 2 m dybde, enkelte borer dog lidt dybere. Borearbejdet tog 2 feltdage. Figur 9 viser resultatet af borerunden.



Figur 9. Mægtigheden af ler på baggrund af boringeme.

De orange farver på figur 9 angiver områder med lertykkelser på 1,5 m til 2 m; det vil sige ler i hele boredybden. Det ses, at et sammenhængende område med disse lermægtigheder strækker sig i den centrale del af boreområdet. Et par tanger med ler strækker sig ud fra området. I den nordøstlige udkant af lerforekomsterne blev der anboret siltet ler, leret silt og silt i et smalt bælte før litologien skiftede til sand. Ved den sydvestlige afgrænsning af området skete skiftet mellem ler og sand mellem 2 borer, det vil sige indenfor ca. 25 m.

Sammenholdes kortlægningen med stang slingram, figur 8, med resultatet fra borerunden, figur 9, ses skiftet i litologi mellem ler og sand både tydeligt og ret præcist på begge kort. Skiftet mellem ler og silt ved den nordøstlige afgrænsning kan ses på figur 8 som en mindre skarp overgang fra høje til lave specifikke elektriske ledningsevneværdier. Et sådant billede vil også forekomme, hvor en lerforekomst overlejres af et sandlag. Hvor de specifikke elektriske ledningsevneværdier er mellem 0 og 10 mS/m blev der alene anboret sand.

Opsamling

Som det ses fra eksemplet, giver kortlægningen med stang slingram et hurtigt og ret præcist overblik over et områdes fordeling, afgrænsningen og ensartetheden af litologierne ler og sand. Hvis litologiernes forekomstsmåde kendes, eksempelvis fra tidligere lergrave eller prøveboringer, kan resultaterne fra stang slingram kortlægningen yderligere tolkes, så

også siltede forekomster eller eventuelt tørv- og gytjeaflejringer kan afgrænses. Dette letter planlægningen og optimeringen af borearbejdet væsentligt i forhold til prøveboringer alene.

Instrumentet kan betjenes af en mand i felten, hvilket gør det terrængående, så marker, hvor der f. eks. står højt korn, kan opmåles.

Stang slingram metoden giver ikke oplysninger om lerets kvalitet med hensyn til forvitningsgrad, det vil sige kalkholdighed og indhold af organisk materiale.

Hårdtbrændende ler

Baggrund

Baggrunden for dette afsnit er, at det erfaringsmæssigt har vist sig, at der findes lerforekomster, der kan brændes ved højere temperaturer end almindeligt for teglværksler og derved egner sig til klinkefremstilling. På Bornholm lavede man tidligere hårdtbrændte gule sten hos Hasle Klinker af en kaolinitrig lertype fra Bagå Formationen. På Villemoes Teglværk i Ribe Amt fremstilles i dag en hårdtbrændt rød sten af kvartært smeltevandsler. Hårdtbrændende lertyper skulle endvidere være fundet i Nordjyllands Amt.

Ved at undersøge sammenhængen mellem lerbjergarternes kemiske sammensætning og begyndende opsmeltning ved hjælp af fasediagrammer ses det, at såvel kalkindhold ($\text{CaO} + \text{MgO}$) som indholdet af kalium (K) og natrium (Na) vil øge mængden af smelte ved en given temperatur (Konnerup Madsen 1989 og He, in press). Det højere kalkindhold i normalt gulbrændende ler betyder, at sintringen begynder ved lavere temperaturer (under 800°C) end i rødbrændende sten, der først begynder at sintre ved temperaturer over 800°C .

Når der arbejdes med rødbrændende ler, som stort set er kalkfrit, har indholdet af K og Na stor indflydelse på, hvor megen smelte der dannes ved en given temperatur. Erfaringer fra England viser da også, at ler med et K_2O -indhold på ca. 2%, skal brændes ved en temperatur, der er ca. 150°C højere end ler med et K_2O -indhold på ca. 4% (Manning 1995).

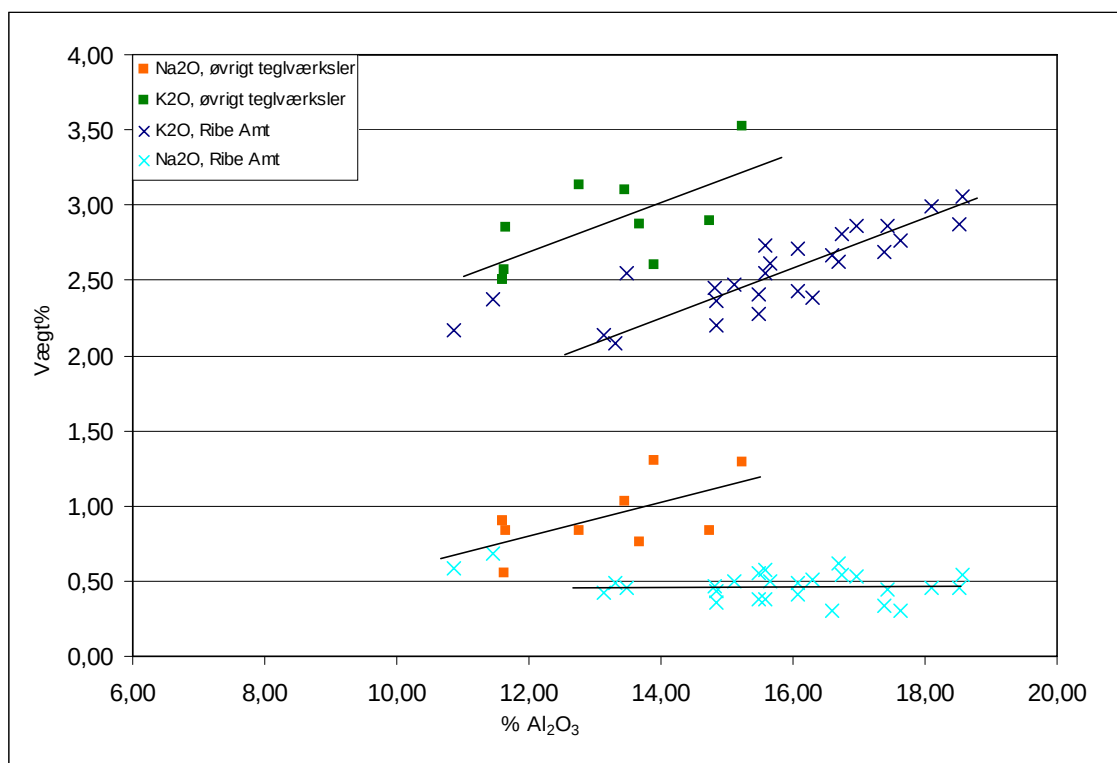
Udover den kemiske sammensætning af leret viser data fra indeværende projekt, at det totale lerindhold også har betydning for brændingstemperaturen, så sten med højt lerindhold ikke kan klare så høje brændingstemperaturer som sten med lavere lerindhold.

Lerforekomster i Ribe Amt

GEUS har udført undersøgelser af hårdtbrændende lerforekomster fra Ribe Amt i forbindelse med et teglværkslerprojekt. Dette er afrapporteret i Holmboe og Knudsen (2000a og b).

Kortlægningen omfattede godt 1000 systematiske borer til 2 m til 3,5 m dybde ved Gørding, Nordenskov og Tistrup. Det ancorede ler er tolket til at være smeltevandsler af Saale alder eller ældre. Ved Nordenskov ligger leret som mindre forekomster, der har en tendens til at følge terrænkoten som et bånd, mens de enkelte forekomster ved Gørding har større udbredelse.

Figur 10 viser K_2O og Na_2O som funktion af Al_2O_3 for teglværksler fra Ribe Amt og generelt. De viste data fra Ribe Amt stammer alle fra forvitrede lere.



Figur 10. K_2O og Na_2O som funktion af Al_2O_3 for teglværksler generelt og i Ribe Amt. Data fra Holmboe og Knudsen (2000a,b) og Konnerup Madsen (1989).

I teglværksler kan Al_2O_3 -indholdet tages som et mål for lerindholdet, da aluminium fortrinsvist sidder i lerminerale. Det ses, at K_2O fra Ribe Amt plottes omkring en veldefineret linie, så stigende Al_2O_3 giver stigende K_2O . Det samme gælder for K_2O fra øvrigt teglværksler, men denne linie ligger højere i diagrammet, det vil sige, at der er højere indhold af K_2O her end i leret fra Ribe Amt ved tilsvarende lerindhold. Et par punkter fra datasættet ved Ribe Amt skiller sig ud og ligger på samme linie som teglværksler iøvrigt. Disse prøver er fra et siltet område, der er afgrænset i forhold til de øvrige lerforekomster. Det geokemiske signal antyder, at disse siltede aflejringer ikke er afsat i forbindelse med samme begivenhed, der afsatte smeltevandseret i området. Den positive korrelation mellem K_2O og Al_2O_3 viser, at kalium er bundet i et eller flere af lerminerale.

Indholdet af Na_2O i leret fra Ribe Amt er lavere end for teglværksler iøvrigt og ændrer sig ikke mærkbart med lerindholdet. Dette er i modsætning til teglværksler iøvrigt, hvor der er positiv korrelation mellem lerindhold og Na_2O .

Den lermineralogiske analyse viser, at sammensætning af leret fra Ribe Amt er domineret af smectit, men indeholder også illit og kaolinit (Knudsen 1998b). Den kemiske sammensætning viser, at der må være tale om en Na-fattig smectit.

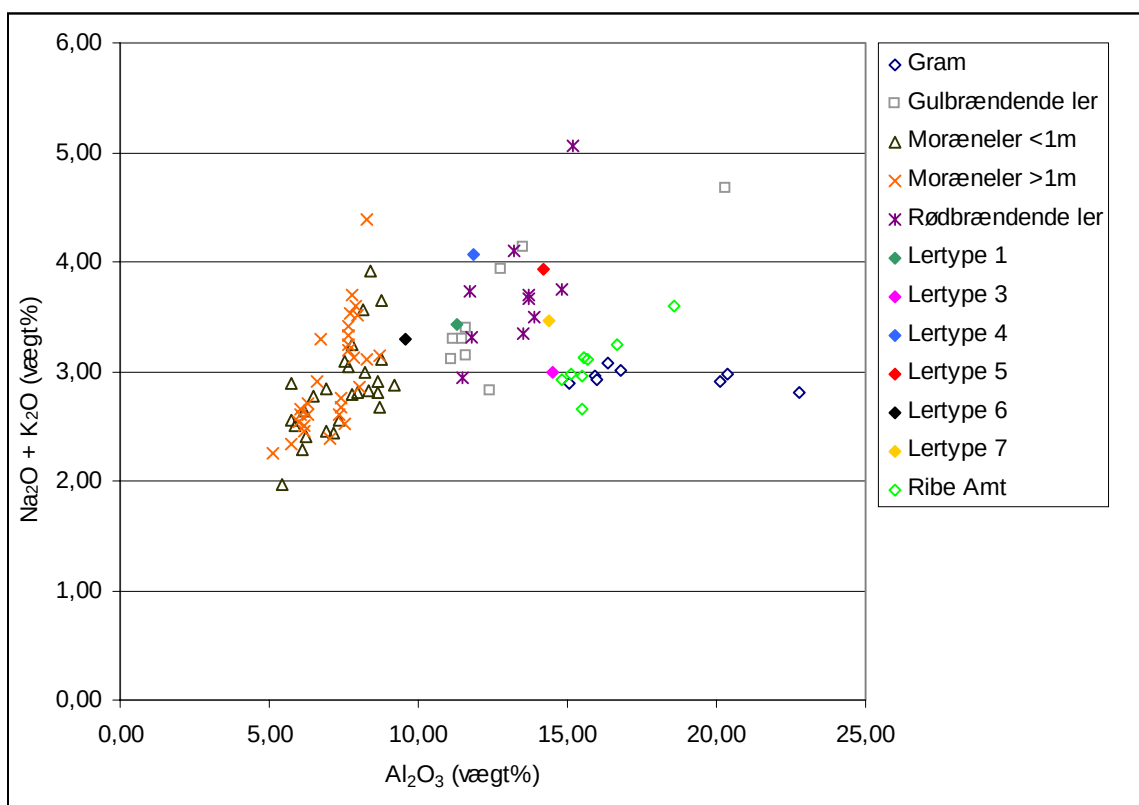
K forventes at være bundet i lermineralet illit. I forbindelse med den overfladenære forvitring af ler sker der en udludning af kalium som resultat af lermineralogiske ændringer. Indholdet af kalium er således foruden illitindholdet i udgangsmaterialet styret af forvitringsgraden. Sidstnævnte er blandt andet en funktion af klima og tid.

De beskrevne lerforekomster i Ribe Amt (Holmboe og Knudsen 2000a,b) er som nævnt senest afsat i Saale, og kan muligvis korreleres med smeltevandssleret som Jensen (1984) beskriver som sandsynlig Sen Elster smeltevandssler. Forekomsternes alder kan således være 250.000 år. Det betyder, at lerforekomsterne gennem størstedelen af Saaleistiden og gennem hele Weichselistiden har ligget frit eksponeret i overfladen. Størrelsen af kemisk forvitring i et sådant periglacialt område er styret af forskellige parametre. Det manglende plantedække i kolde perioder giver mindre næringsudtræk og derfor mindre forvitring fra jorden, og den lave temperatur sænker generelt hastigheden af kemiske processer (som forvitring). Af faktorer, der trækker i modsat retning, det vil sige giver højere forvitringshastighed, kan nævnes vands ionkapacitet, der stiger med faldende temperatur; undermættet smeltevand, der kan opløse flere ioner, og processer på molekylær skala, hvor vand vandrer ind og ud af lerminerale, der udsættes for temperatursvingninger både over og under 0°C (efter Benn and Evans 1998, Ballantyne and Harris 1994). Forvitringen af lerminerale er derfor betydende både i mellemistider og istider.

Det lave indhold af K og Na i lerforekomsterne i Ribe Amt skyldes sandsynligvis en kombination af de omtalte forvitringsprocesser relateret til lerforekomsternes lange eksponeringstid og udgangsslerets sammensætning. Forvitringsdybden af de kortlagte leraflejringer er varierende, men i størrelsesordenen 1,5 m; enkelte steder dog 2 m eller mere.

Figur 11 viser summen af Na₂O og K₂O plottet mod Al for forskellige lertyper. Moræneler har på grund af indhold af feldspater det højeste indhold af Na og K. Der ses en svag tendens til, at overfladenært moræneler har lidt lavere alkaliindhold end dybere liggende moræneler, hvilket tillægges forvitring.

De hårdtbrændende lertyper fra Ribe Amt har det laveste indhold af Na og K relativt til Al-indholdet for teglværkslere, og plotter i samme ende af diagrammet som Gramleret.



Figur 11. $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ mod Al_2O_3 for udvalgte lertyper. Modificeret efter Knudsen 1998b.

Da det hårdtbrændende smeltevandsler fra Ribe Amt underlejres af Gramler, anses det for sandsynligt, at smeltevandsleret har "arvet" det lave alkaliindhold indhold herfra, og dermed egenskaber, der gør det muligt at brænde det ved højere temperaturer til en lavere porøsitet.

Det skal bemærkes, at det foruden lerets kemiske og mineralogiske sammensætning, er en forudsætning, at ler, der skal brændes hårdt, endvidere har en nøje afstemt kornstørrelsessammensætning og et passende lerindhold.

Konklusion og anbefalinger

Den primære forudsætning for, at en rødbrændende lertype kan anvendes som hårdtbrændende ler, er sandsynligvis et lavt indhold af Na og K, da disse komponenter sænker smeltepunktet. Indholdet af Na og K mindskes ved overfladenære forvitningsprocesser, og indholdet af disse komponenter er således styret af lertypens udgangsbjergart og forvitringsgraden.

Det anbefales derfor, at efterforskningen af hårdtbrændende ler fokuseres på områder, der er underlejret af formationer med et lavt alkaliindhold og ligger vest og syd for hovedopholdslinien i Vestjylland, hvor lerforekomsterne generelt er ældre, og forvitringsprocesserne således har pågået i længere tid.

Analyser af lertyper i Danmark

I forbindelse med indeværende projekt er der udført analyser af 6 forskellige lertyper i Danmark. Lertyperne er udvalgt på baggrund af følgende kriterier:

- Geografisk beliggenhed opdelt efter landsdele
- Typisk anvendt forekomst ved det enkelte teglværk

Tabel 3 viser lokalitet og bjergart/aflejringsmiljø for de analyserede lertyper.

Prøve nr.	Lokalitet	Geologi
1	Sønderjylland	Moræneler
3	Vestjylland	Smeltevandsler
4	Nordsjælland	Smeltevandsler/issøler
5	Syd for Limfjorden	Smeltevandsler (Skiveler)
6	Thy	Moræneler
7	Fyn	Smeltevandsler/issøler

Tabel 3. Analyserede lertyper.

Lertyperne har gennemgået tegltekniske, kemiske og mineralogiske analyser samt sigte- og sedigrafanalyser. De tegltekniske analyser er foretaget af Murværkscentret, Teknologisk institut, mineralogisk- og kornstørrelsesanalyser af GEUS, og de kemiske analyser på Activation Laboratories Ltd. i Canada. Alle rådata er vedlagt i bilag 2 til 5.

Sigte- og sedigrafanalyser

Metode

Kornstørrelsesfordelingen på materialet $> 0,063$ mm bestemmes udfra DS 405.9.

En passende, ikke tørret, prøvemængde udtages og filtreres på $100\text{ }\mu\text{m}$ filter med ionbyttet vand.

Hvis materialet indeholder $> 3\%$ organisk materiale fjernes dette med brintperoxid.

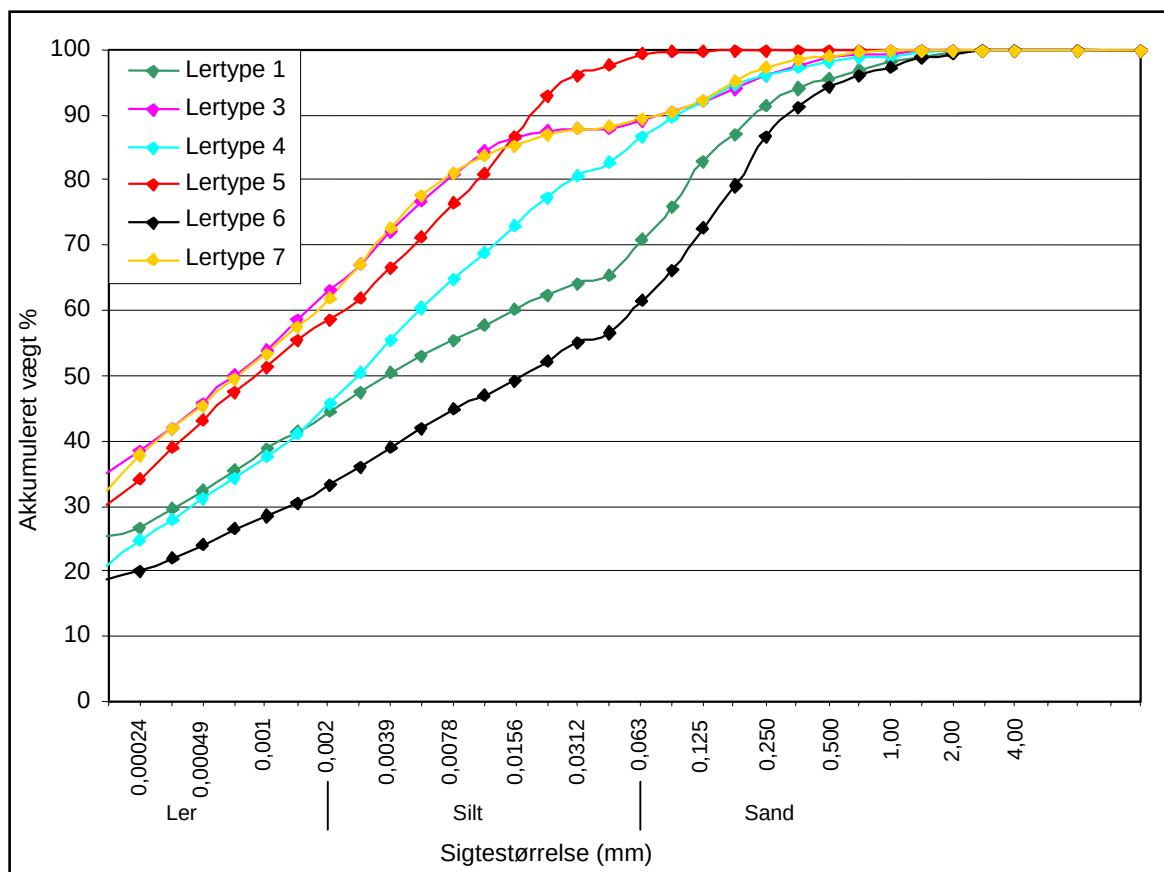
Materialet $< 100\text{ }\mu\text{m}$ tørres. Ca. 3 gram udtages og overføres til 50 ml plastikcentrifugeglas med låg og tilsættes ca. 50 ml 0,005 M natriumpyrophosphat. Prøven dispergeres på rystebord i 12 timer. Herefter overføres materialet til sedigrafbægre med 0,005 M natriumphosphat, og kornstørrelsesfordelingen for materialet $< 100\text{ }\mu\text{m}$ analyseres på Sedigraph 5100 efter vejledning for denne. Der udskrives en komplet kornstørrelseskurve for alle kornstørrelser inklusiv sand for materialet ned til $0,2\text{ }\mu\text{m}$.

Resultater

Analyseresultaterne ses i bilag 5. De akkumulerede kornkurver er vist i figur 12, mens de enkelte kornstørrelsesfraktioner er opsummeret i tabel 4.

	Ler	Finsilt	Mellem- og grovsilt	Sand	Grus
	< 2 μm	2 μm - 6 μm	6 μm - 63 μm	63 μm - 2 mm	> 2 mm
Sønderjylland 1	41,4	9,54	14,43	33,64	0,90
Vestjylland 3	58,6	14,47	14,95	11,82	0,13
Nordsjælland 4	41,1	15,36	26,34	16,89	0,29
Syd for Limfjorden 5	55,3	12,27	30,07	2,35	0,00
Thy 6	30,4	9,21	17,04	41,96	1,34
Fyn 7	57,5	16,34	14,52	11,55	0,06

Tabel 4. Procentvis indhold af ler, finsilt, mellem- og grovsilt, sand og grus i de analyserede lertyper.



Figur 12. Akkumulerede kornkurver for de 6 analyserede lertyper. Kornkurver med frekvensprocent findes i bilag 5.

Kemiske analyser

Metoder

De kemiske analyser er gennemført af Activation Laboratories Ltd. Canada.

Hovedelementanalyser er gennemført ved "Fusion ICP" (Inductively Coupled Plasma emission spectrometry). Det vil sige, at prøven smeltes ved hjælp af en flux og bringes i opløsning. Opløsningen opvarmes til 8000°K, hvorved de enkelte atomer udsender et karakteristisk spektrum, der måles. Detektionsgrænsen for de forskellige grundstoffer er 0,1%.

C, *organisk C*, S og SO_4^{2-} indholdet er analyseret ved hjælp af LECO oven og infrarød spektrografi. Detektionsgrænserne er henholdsvis 0,03% for C, 0,03% for organisk C, 0,01% for S og 0,05% for SO_4^{2-} .

Flourindholdet (ppm F) er bestemt ved hjælp af ion selektiv elektrode med en detektionsgrænse på 200 ppm.

Sporelementanalyser (bl.a. Cr) er gennemført med "INAA" (Instrumentel Neutron Aktivierungs Analyse).

Tungmetalanalyser (bl.a. Cu, Pb, Zn og Ni) er gennemført med "Total Digestion ICP", det vil sige, at prøven opløses i en kombination af syrer, der sikrer total opløsning, hvorefter den analyseres ved hjælp af ICP.

Resultater

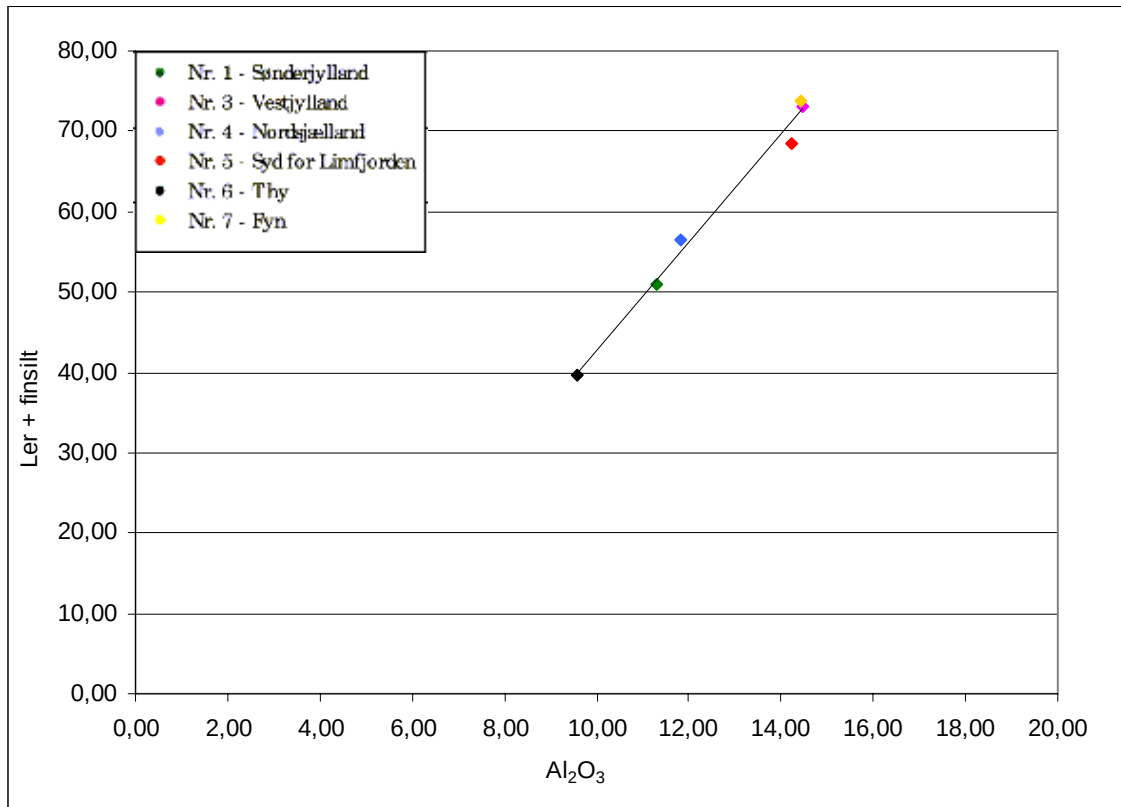
Analyseresultaterne er vedlagt i bilag 3. I det følgende præsenteres dele af disse data som tabeller og krydsplot.

Lertype	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	F	CaO
Sønderjylland 1	71,24	11,32	4,41	1,07	0,94	2,49	0,06	477	1,12
Vestjylland 3	60,45	14,48	6,96	1,47	0,48	2,52	0,12	429	0,68
Nordsjælland 4	68,28	11,84	4,65	1,16	1,19	2,87	0,13	600	2,48
Syd for Limfjorden 5	63,86	14,22	4,69	1,87	0,94	3,00	0,06	789	1,36
Thy 6	76,97	9,59	3,76	0,87	1,01	2,29	0,07	341	0,88
Fyn 7	55,46	14,41	5,42	1,71	0,78	2,69	0,12	293	2,29

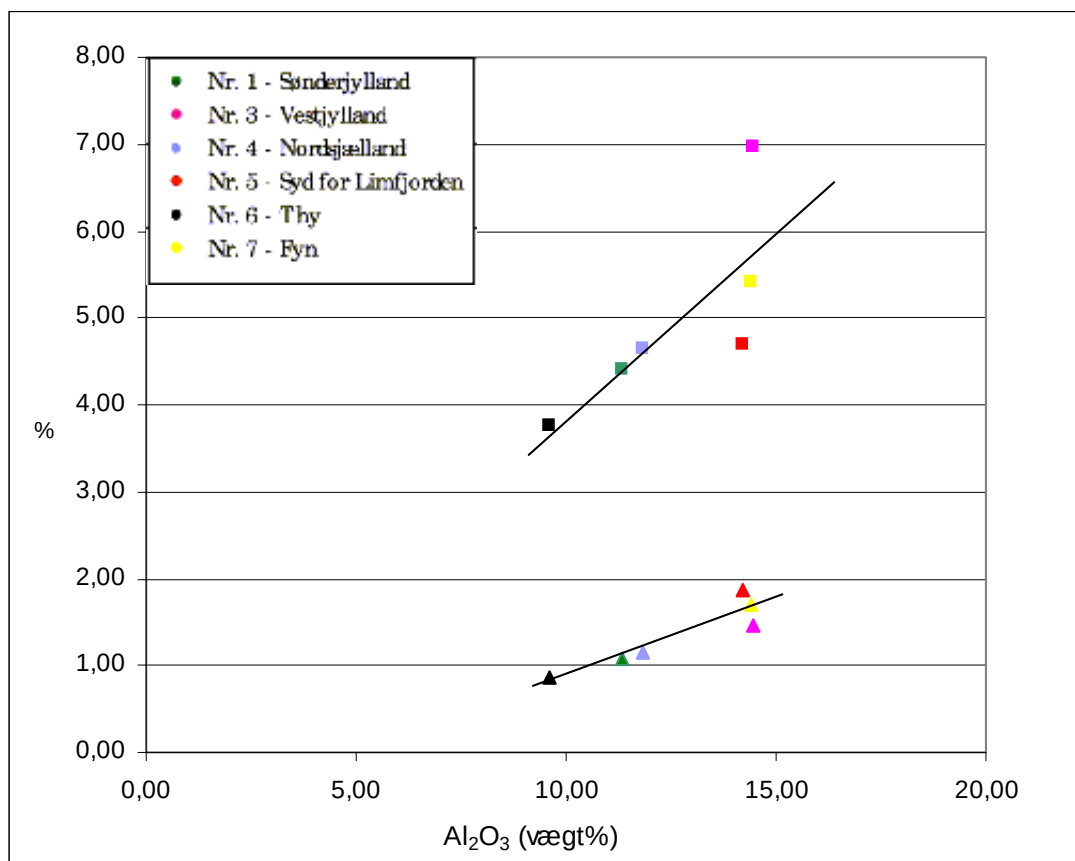
Tabel 5. Analyserede lertypers indhold af: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, F, CaO. Værdierne er i vægt %.

Tabel 5 viser dele af den kemiske analyse.

I figur 13 er Al_2O_3 vist som funktion af summen af ler og finsilt, der er kornstørrelsesfraktionerne, hvor langt størstedelen af lerminerallerne befinder sig. Det ses, at lertyperne plotter på en linie, hvilket viser, at Al_2O_3 netop er bundet i lerminerallerne. Man kan derfor bruge indholdet af Al_2O_3 som udtryk for indholdet af lermineraller i en lertype.



Figur 13. Al_2O_3 som funktion af summen af ler og finsilt.



Figur 14. Al_2O_3 mod MgO og Fe_2O_3 . De firkantede signaturer er indholdet af Fe_2O_3 mens de trekantede signaturer er indholdet af MgO .

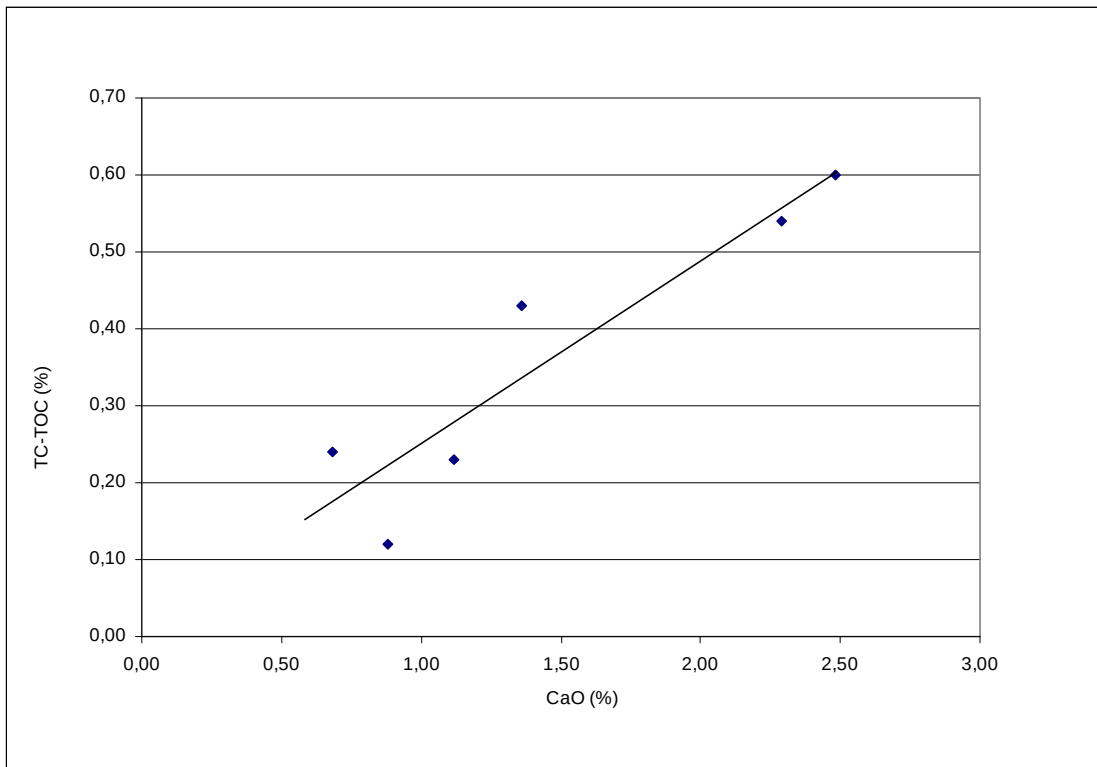
Figur 14 viser MgO og Fe_2O_3 som funktion af Al_2O_3 . Det ses, at prøverne ligger omkring en ret linie. Dette viser, at størstedelen af MgO og Fe_2O_3 kan forventes at være bundet i lerminerallerne.

	TC	TOC	TC - TOC	S	SO_4
Sønderjylland 1	0,34	0,11	0,23	0,02	0,00
Vestjylland 3	0,34	0,10	0,24	0,01	0,00
Nordsjælland 4	0,72	0,12	0,60	0,01	0,00
Syd for Limfjorden 5	0,70	0,27	0,43	0,54	0,81
Thy 6	0,16	0,04	0,12	0,01	0,00
Fyn 7	0,82	0,28	0,54	0,01	0,00

Tabel 6. Indholdet af TC (total kulstof), TOC (total organisk kulstof), TC - TOC (total uorganisk kulstof), S og SO_4 i lertyperne. Værdierne er i vægt %.

Tabel 6 viser indholdet af total kulstof (TC), total organisk kulstof (TOC), total uorganisk kulstof (TC-TOC), S og SO_4 .

I figur 15 er total kulstof minus total organisk kulstof (TC-TOC), det vil sige total uorganisk kulstof, vist som funktion af CaO . Det ses, at punkterne plotter langs en ret linie, hvilket viser, at begge parametre afspejler indholdet af kalk.



Figur 15. TC-TOC (%) som funktion af CaO-indholdet.

Tegltekniske analyser

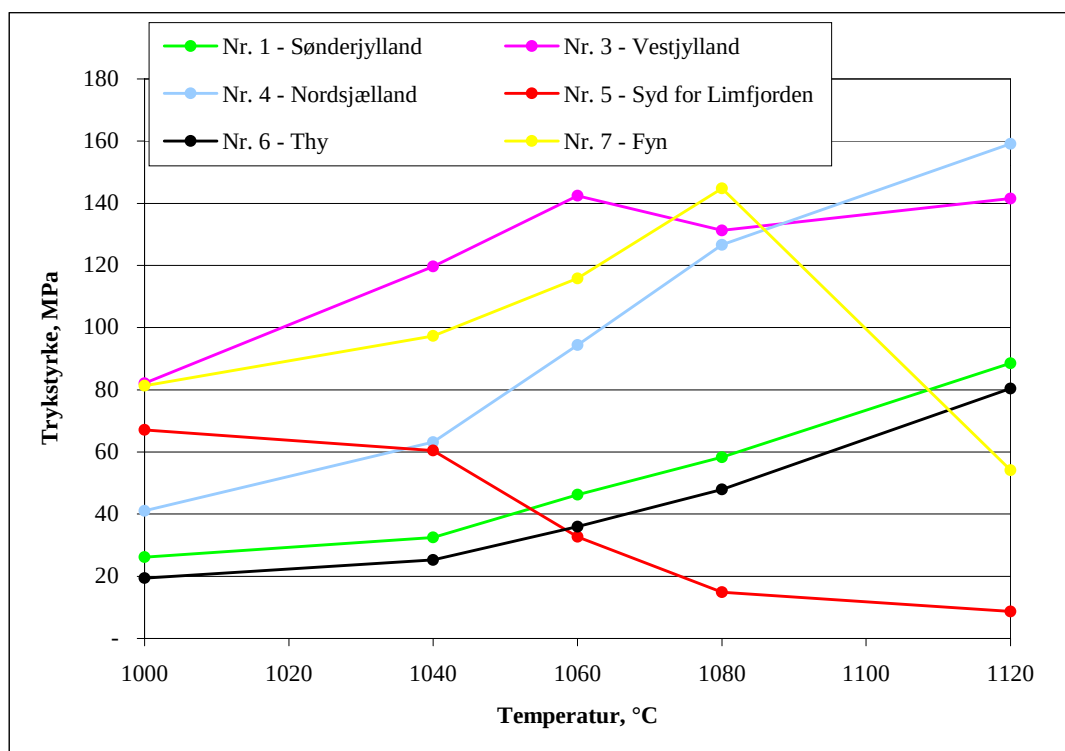
De tegltekniske analyser indbefatter en række målinger af teglværksleret både før og efter tørring samt efter brænding ved forskellige temperaturer. Resultaterne og analysemetoderne er beskrevet i rapporten fra murværkscentret, der er vedlagt som bilag 2. For metodebeskrivelse og præsentation af de tegltekniske data henvises til dette bilag.

Bøjningstræk- og trykstyrkeudviklingen

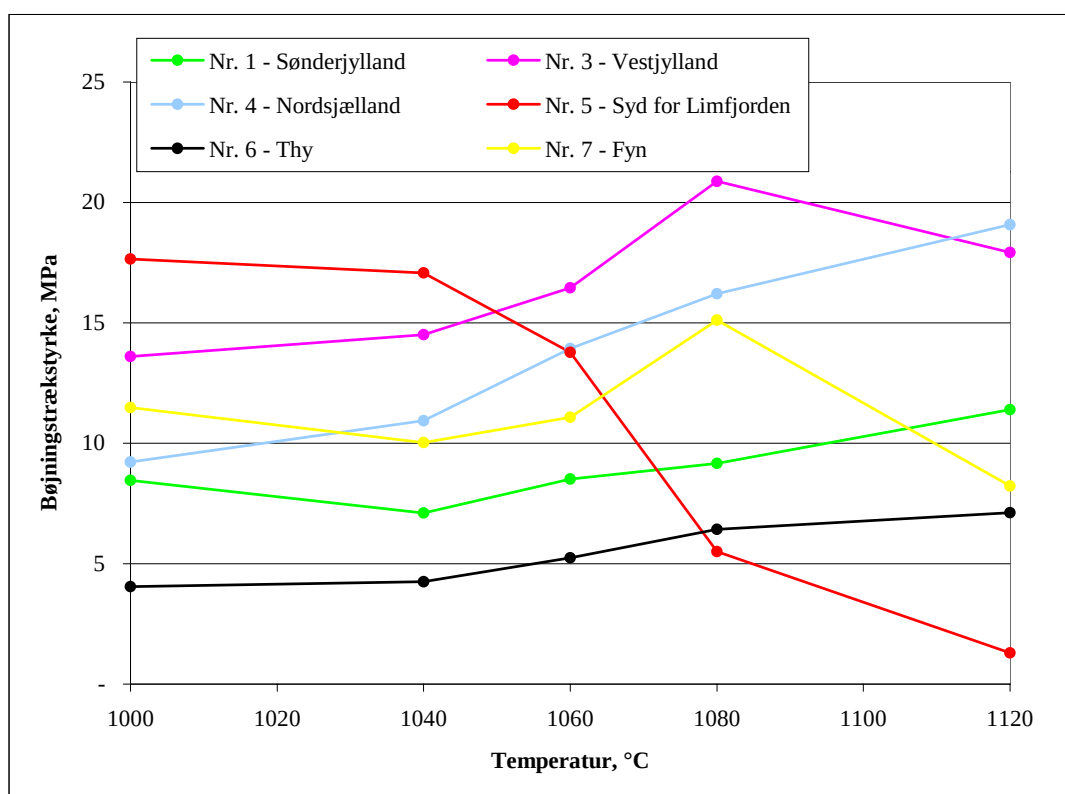
Bøjningstræks- og trykstyrke betegner to metoder til at angive, hvilken belastning de færdigbrændte prøver kan udsættes for før der indtræffer brud. Belastningens størrelse angives i MPa. Ved måling af bøjningstrækstyrke anbringes prøvestængerne, så de er understøttet med 80 mm spændvidde og belastes herefter jævnt midt mellem understøtningerne med en lodret vinklet linielast indtil brud indtræffer.

Ved måling af trykstyrke anbringes prøverne i trykpresse. Belastningen øges til der indtræffer brud.

Figur 16 og figur 17 viser henholdsvis lertypernes trykstyrke og bøjningstrækstyrke som funktion af toptemperaturen.



Figur 16. Trykstyrke som funktion af toptemperatur.



Figur 17. Bøjningstrækstyrke af brændte prøvestænger som funktion af toptemperatur.

Det ses generelt, at bøjningstræk- og trykstyrken for den enkelte lertype stiger med brændingstemperaturen. For lertype 3, 5 og 7 falder bøjningstræk- og trykstyrken dog ved høje brændingstemperaturer.

Lertype 1 og 4 indeholder omkring 41% ler og lertype 6 blot ca. 30% ler. Lertype 1 har større bøjningstræk- og trykstyrke end lertype 6 gennem hele brændingsforløbet, men kurveforløbene for lertype 1 og 6 er næsten identiske, mens kurverne for lertype 4 stiger mest og således giver denne lertype den største tryk- og bøjningstrækstyrke ved toptemperaturen 1120°C.

Det næsten identiske kurveforløb for lertype 1 og 6 tillægges lertypernes kornstørrelsessammensætningen, se bilag 5. Lertype 1 har ca. 10% højere lerindhold end lertype 6, der til gengæld har ca. 10% højere indhold af fraktionerne fra mellemsand og grovere. Kornkurveforløbet fra grovler til finsand er næsten identisk for de to lertyper, med en jævn til svagt faldende kurve fra ler til grovsilt, hvorefter kurven har en pukkel, der markerer indholdet af sand i morænelerprøven.

Lertype 4 har den største trykstyrkeudvikling som funktion af temperaturen, det vil sige, at produktet bliver relativt stærkere med øget temperatur end lertype 1 og 6. Lerindholdet i lertype 4 er som i lertype 1 omkring 41%, og kornkurverne forløber nogenlunde parallelt indtil mellemsilt. Hvor lertype 1 har et markant indhold af sand, har lertype 4 et jævnt kornkurveforløb med næsten konstant indhold gennem siltfraktionen og jævnt faldende indhold fra finsand og op. En sådan kornstørrelsesfordeling, der ikke er bimodal, vil teoretisk give en bedre pakning af kornene, hvilket giver flere kornkontakter, hvor de enkelte korn kan sintre sammen. Når det enkelte korn er sintret sammen med flere nabokorn er det nærliggende, at forvente højere trykstyrkeværdier for det færdige produkt.

Dette indikerer, at bøjningstræk- og trykstyrken som funktion af brændingstemperaturen hænger sammen med kornkurveforløbet, så en jævn kornkurve giver større bøjningstræk- og trykstyrkeudvikling, mens lerindholdet til en vis udstrækning bestemmer, hvor trykstyrkekurverne ligger i diagrammet.

Lertyperne 3, 5 og 7 har højt lerindhold (55,3% til 58,7%) og opnår højere tryk- og bøjningstrækstyrke ved lave brændingstemperaturer, men mister disse egenskaber, når de brændes ved højere temperaturer. Det er iøjefaldende, at tryk- og bøjningstrækstyrken stiger kraftigst umiddelbart før den dykker.

At lertyperne med højt lerindhold mister styrke med øget temperatur må tillægges, at for stor en del af den samlede mængde råler sintrer eller smelter, og der således er for få inaktive korn til at holde sammen på produktet. Dette ses endvidere ved, at der sker opblæring af lertyperne 5 og 7 ved henholdsvis 1040°C og 1080°C.

De tre lertyper med højt lerindhold klarer sig forskelligt gennem brændingsforløbet. Kornstørrelsesfordelingen for lertype 5 viser, at indholdet af sand blot er godt 2%. Det resterende indhold er jævnt fordelt i de finere fraktioner. Dette giver lertypen et meget højt indhold af komponenter, der reagerer aktivt i brændingsprocessen, enten ved sintring eller smeltning, og et for lavt indhold af inaktive komponenter. Lertype 5 taber derfor allerede

bøjningstræk- og trykstyrke ved brændingstemperaturer over 1000°C. Kornkurverne for lertype 3 og 7 er næsten ens, med et jævnt kornkurveforløb fra ler til siltfraktionen, et svagt dyk omkring grovsilt og en markant top, der markerer et indhold af sand.

Lertypernes bøjningstræk- og trykstyrkeudvikling som funktion af temperaturen forløber også næsten parallelt, dog generelt med større styrkeudvikling for lertype 3, der også har mindre styrketab ved brænding over 1080°C. Med hensyn til trykstyrkeudviklingen som funktion af temperaturen forløber kurverne for de to lertyper næsten parallelt indtil 1060°C eller 1080°C, hvor styrken for lertype 7 falder markant, mens lertype 3 holder styrken omkring 140 MPa. Dette viser, at lertype 3 muligvis kan brændes ved højere temperatur end lertype 7, selvom kornkurverne for de to lertyper næsten er ens. Forskellen mellem de to lertypers styrkeudvikling som funktion af temperaturen kan muligvis tillægges indholdet af Na, K og tildels Ca, der virker som fluxe.

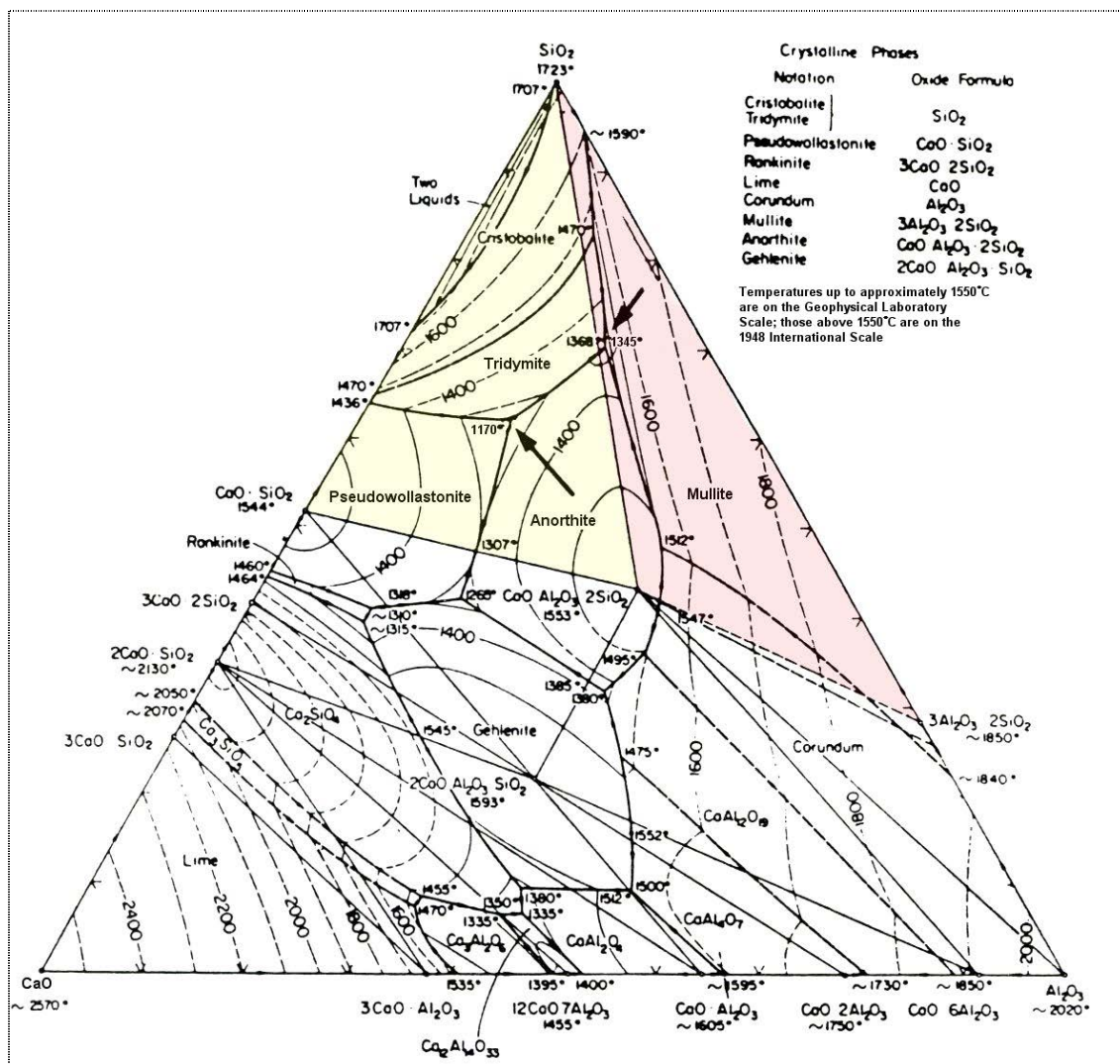
Na, K og Ca's indflydelse på brændingstemperaturen

Tabel 7 viser indholdet af Na, K og Ca i de analyserede lertyper.

Lertype	Na ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O+K ₂ O	CaO
Egersund 1	0,94	2,49	3,43	1,12
Vestjylland 3	0,48	2,52	3,00	0,68
Nordsjælland 4	1,19	2,87	4,06	2,48
Skiveler 5	0,94	3,00	3,94	1,36
Thy 6	1,01	2,29	3,30	0,88
Fyn 7	0,78	2,69	3,47	2,29

Tabel 7. Indhold af Na₂O, K₂O og CaO i lertyperne. Værdierne er i vægt %.

Calciums egenskab som flux kan ses ved liquidus fasediagrammet for 3-komponentsystemet SiO₂, Al₂O₃, CaO.

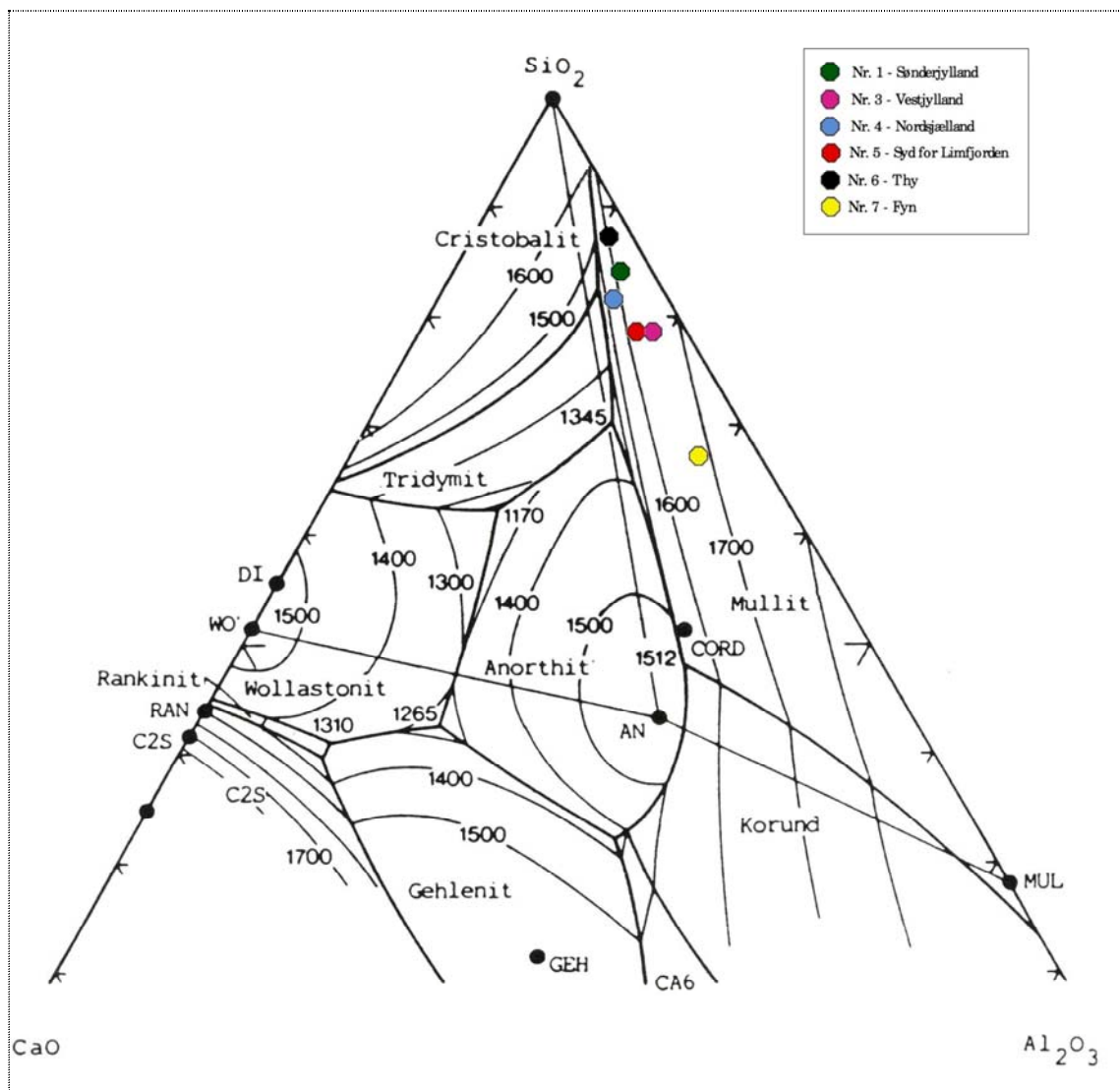


Figur 18. Liquidus fasediagrammet for 3-komponentsystemet $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ved 1 atmosfæres tryk. To eutektiske punkter er angivet ved pile. Den rødfarvede deltrekant angiver placeringen af typisk rødbrændende ler, den gulfarvede deltrekant angiver placeringen af typisk gulbrændende ler. Modificeret efter Konnerup Madsen (1989).

I fasediagrammet, figur 18, er markeret to deltrekanten: tridymit-anorthit-wollastonit deltrekanten (gulfarvet, eutektisk punkt angivet med lang pil) og tridymit-anorthit-mullit deltrekanten (rødfarvet, eutektisk punkt angivet med kort pil). Indholdet af CaO i leret er afgørende for, om lerets sammensætning plotter i tridymit-anorthit-wollastonit trekanten eller i tridymit-anorthit-mullit trekanten af fasediagrammet (Konnerup Madsen 1989).

Gulbrændende ler har typisk højt indhold af CaO , da calcium binder jern i andre mineraler end det rødfarvende mineral hæmatit. Dette betyder, at gulbrændende ler generelt plotter i tridymit-anorthit-wollastonit deltrekanten, og rødbrændende ler i tridymit-anorthit-mullit deltrekanten (Konnerup Madsen 1989). Undtagelser fra denne regel vil forekomme for jernfattige lertyper, der ikke danner mineralet hæmatit ved brænding og derved giver gule sten selvom calciumindholdet er lavt. Sådanne lertyper er atypiske i Danmark.

Den øverste del af fasediagrammet er vist i figur 19.



Figur 19. De undersøgte lertyper placering i liquidus fasediagrammet for 3-komponentsystemet $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ved 1 atmosfæres tryk. AN: Anorthit, DI: Diopsid, WO: Wollastonit, RAN: Rankinit, GEH: Gehlenit, MUL: Mullit, CORD: Cordierit, C2S: $2\text{Ca}-\text{SiO}_2$, CA6: $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$. Modifieret efter Konnerup Madsen (1989).

De analyserede lertyper er plottet i fasediagrammet, og det ses, at alle lertyperne befinder sig i feltet for rødbrændende ler. Når leret opvarmes, vil smeltens sammensætning teoretisk være som i det eutektiske punkt – og jo tættere rålerets sammensætning er på det eutektiske punkt desto mere smelte vil der være ved en given temperatur.

Det eutektiske punkt angiver desuden den laveste temperatur i systemet, hvor smeltedannelse kan finde sted. Det er ved 1170°C for tridymit-anorthit-wollastonit deltrekanten og ved 1345°C for tridymit-anorthit-mullit deltrekanten. Dette er grunden til, at gulbrændende ler brændes ved lavere temperaturer end rødbrændende ler. Når råler sintrer og smelter ved lavere temperaturer end de teoretiske temperaturer i fasediagrammet må det tillægges komponenter, der virker som fluxe og derved sænker smeltedannelsestemperaturen. Det er især natrium og kalium, der har denne effekt (Konnerup Madsen 1989).

Lertype 3 kan som nævnt brændes ved højere temperatur end lertype 7. Det ses da også, at indholdet af $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ er 3,47 vægt% for lertype 7 mens det er 3,00 vægt% for lertype 3. Lertype 7 har således et højere indhold af $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ og CaO end lertype 3, hvilket tilskrives at være årsagen til denne lertypes ringere styrkeudvikling med temperaturen.

Det ses endvidere i tabel 7, at lertype 4 har et indhold af $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ på 4,06 vægt% og CaO på 2,48 vægt%. På trods af, at dette er de højeste værdier i måleserien, ses ingen tegn på svækkelse af bøjningstræk- og trykstyrkeværdierne gennem brændingsforløbet. Dette kunne tyde på, at et passende lerindhold kombineret med en jævn kornkurve har væsentlig betydning på sintringsforløbet, og eventuelt til en vis grad overskygger fluxindholdets indvirken.

Brændingssvind

Teglværksler svinder ved brænding; svindet er bestemt ved vægttab i % (tabel 8) og længdesvind i % (tabel 9).

Toptemperatur °C	Lertype					
	1	3	4	5	6	7
1000	4,1	6,2	4,9	6,3	3,0	7,1
1040	4,1	6,3	4,8	6,2	2,8	7,0
1060	4,1	6,0	5,0	6,3	3,0	7,2
1080	4,2	6,1	4,9	6,4	2,9	7,1
1120	4,1	6,2	5,0	6,4	2,9	7,1

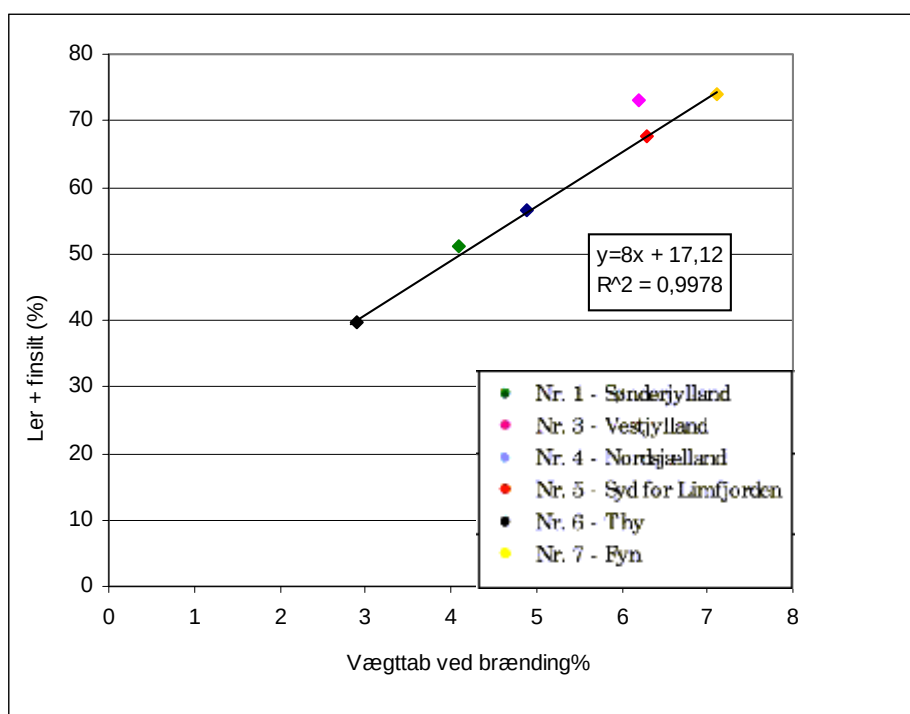
Tabel 8. Vægttab ved brænding i vægt%.

Toptemperatur °C	Lertype					
	1	3	4	5	6	7
1000	0,6	4,6	0,0	2,9	0,0	1,5
1040	2,0	7,2	0,8	5,0	0,7	4,8
1060	2,9	8,2	2,6	4,6	1,7	6,4
1080	4,3	8,8	4,8	2,0	3,0	6,6
1120	5,2	7,7	5,9	2,6	4,2	1,0

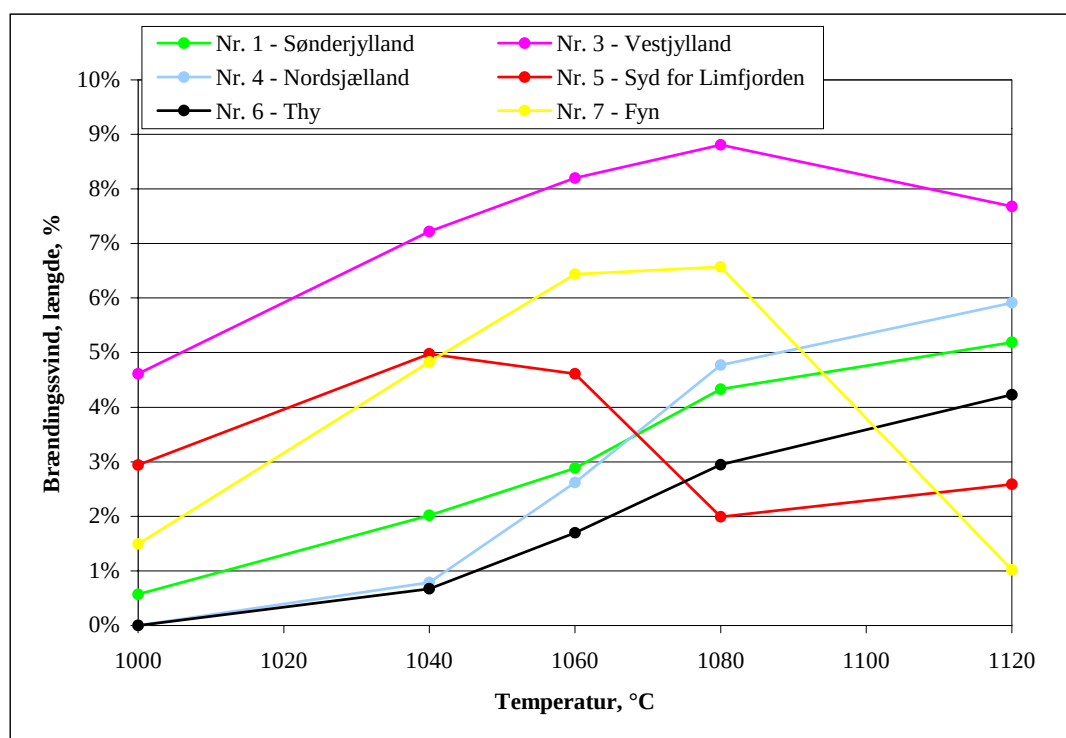
Tabel 9. Længdesvind ved brænding i vægt%.

Det ses af tabel 8, at lertypernes vægttab ved brænding er mellem 3% og 7%. Uafhængig af lertypen er vægttabet tilendebragt ved temperaturer lavere end 1000°C, hvilket stemmer godt overens med det tidligere beskrevne brændingsforløb.

Figur 20 viser lertypernes vægttab ved brænding som funktion af indholdet af ler og finsilt. Det ses, at lertyperne plotter langs en veldefineret linie. Hældningen af linien viser, at en stigning af indholdet af ler+finsilt på 8% medfører et vægttab ved brænding på 1%. Lertype 3 adskiller sig fra linien ved at have et 0,9% mindre vægttab ved brænding end de øvrige lertyper relativt til lertypens indhold af ler+finsilt.



Figur 20. Lertypernes gennemsnitlige vægttab ved brænding som funktion af summen af ler+finsilt.



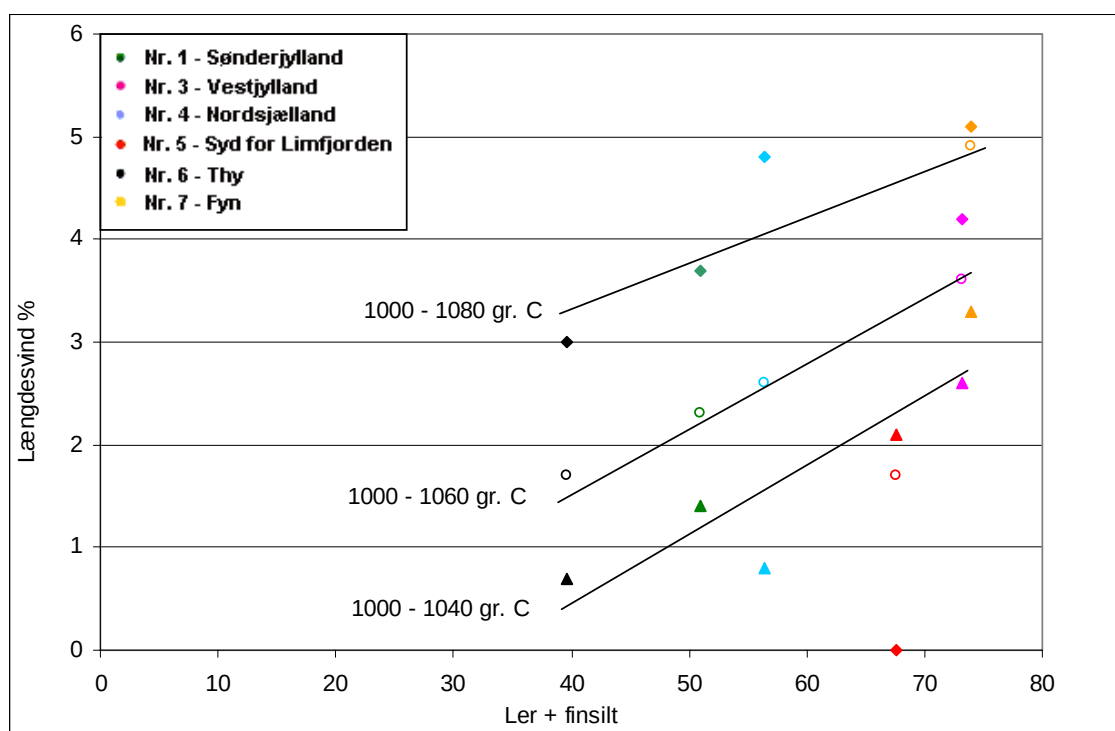
Figur 21. Længdesvind ved brænding som funktion af brændingstemperatur.

Længdesvindet ved brænding skyldes primært sammensintringen af kornene. Længdesvindet ved 1000°C ses i figur 21 at ligge mellem 0% og 4,5%, og stiger med stigende temperatur, indtil der begynder at ske opblæring. Dette ses ved lertype 3, 5 og 7, hvor længdesvindet falder ved henholdsvis 1080°C, 1040°C og 1080°C. Ved temperaturer

højere end 1040°C stiger længdesvindet for lertype 1, 4 og 6, mens det generelt falder for de resterende lertyper med højt lerindhold. Ved temperaturer, hvor der ikke sker opblæring vil et højere indhold af ler+finsilt give større længdesvind, ligesom længdesvindet vil begynde ved en lavere temperatur.

Det ses desuden, at længdesvindet som funktion af temperaturen udvikler sig analogt for lertype 1 og 6, mens lertype 4 får større længdesvind ved brændingstemperaturer over 1040°C.

Længdesvindets størrelse i forskellige temperaturintervaller er vist i figur 22 som funktion af indholdet af ler+finsilt indholdet.



Figur 22. Længdesvindet i % som funktion af ler+finsilt indholdet i forskellige temperaturintervaller. Firkantede signaturer er temperaturintervallet: 1000-1080°C, runde signaturer 1000-1060°C og trekantede 1000-1040°C.

Der ses en klar tendens til, at længdesvindets størrelse i de viste temperaturintervaller kan relateres til ler+finsilt indholdet, så et øget indhold af disse fraktioner giver øget længdesvind. Ved brændingstemperaturer over 1040°C falder specielt lertype 5 udenfor de øvrige lertyper, hvilket skyldes smeltning. Generelt bliver sammenhængen mere diffus ved højere brændingstemperaturer og højere indhold af ler+finsilt i lertyperne.

Lertype 4 ligger i temperaturintervallet 1000°C til 1040°C under trendlinien, det vil sige har et lavere længdesvind relativt til lertypens indhold af ler+finsilt, mens den ligger på trendlinien i temperaturintervallet 1000°C til 1060°C og over trendlinien i temperaturintervallet 1000°C til 1080°C. Om denne udvikling er signifikant og kan relateres til en enkelt parameter, som eksempelvis lertypens kornkurve eller lermineralogi, kan ikke umiddelbart tolkes på indeværende datagrundlag.

I temperaturintervallene 1000°C til 1040°C og 1000°C til 1060°C ses længdesvindet, for de lertyper, hvor der ikke sker smeltning, at være relateret til indholdet af ler+finsilt, så der ca. sker en 0,5% øgning af længdesvindet for hver 10% stigning af ler+finsilt indholdet.

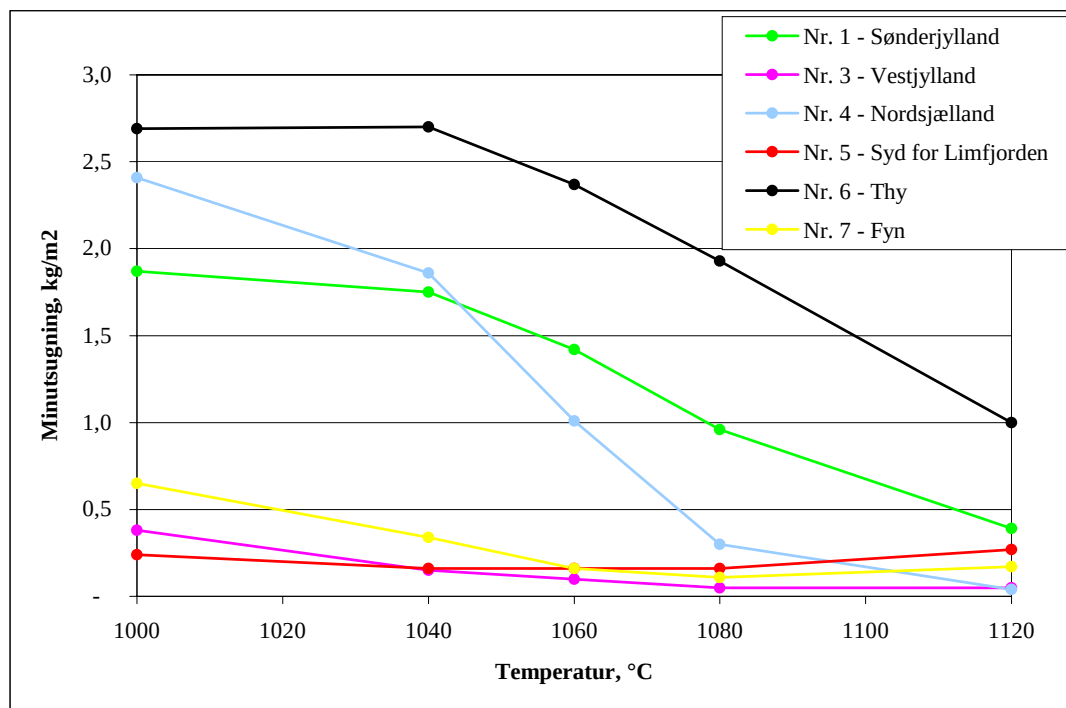
Minutsugning og vandoptagelse

Minutsugningen bestemmes ved at anbringe de brændte prøvestænger i vandbad, så den ene liggeflade er 0,5 cm under vandspejlet. Efter 1 minut tages prøvestangen op, aftrykkes med opvredet karklud og vejes.

Vandoptagelsen bestemmes ved at stille prøvestængerne i vand i 2 døgn. Det første døgn halvt nedsænket og det næste døgn helt nedsænket. Prøvestængerne aftørres og vejes.

Minutsugningen afspejler stenens evne til at opsuge vand, hvilket er en funktion af porestørrelsen og antallet af porer eller kapillarer. Den kapillære stighøjde er direkte proportional med den reciprokke porediameter, hvorfor mindre porer giver større minutsugning end store porer. Under brændingen af stenen falder indholdet af porer mens porestørrelsen stiger (Falk 1980), hvilket samlet giver mindre minutsugning.

Vandoptagelsen afspejler den absolutte porøsitet, hvilket er summen af alle åbne porer herunder kapillarer.



Figur 23. Minutsugning som funktion af brændingstemperatur.

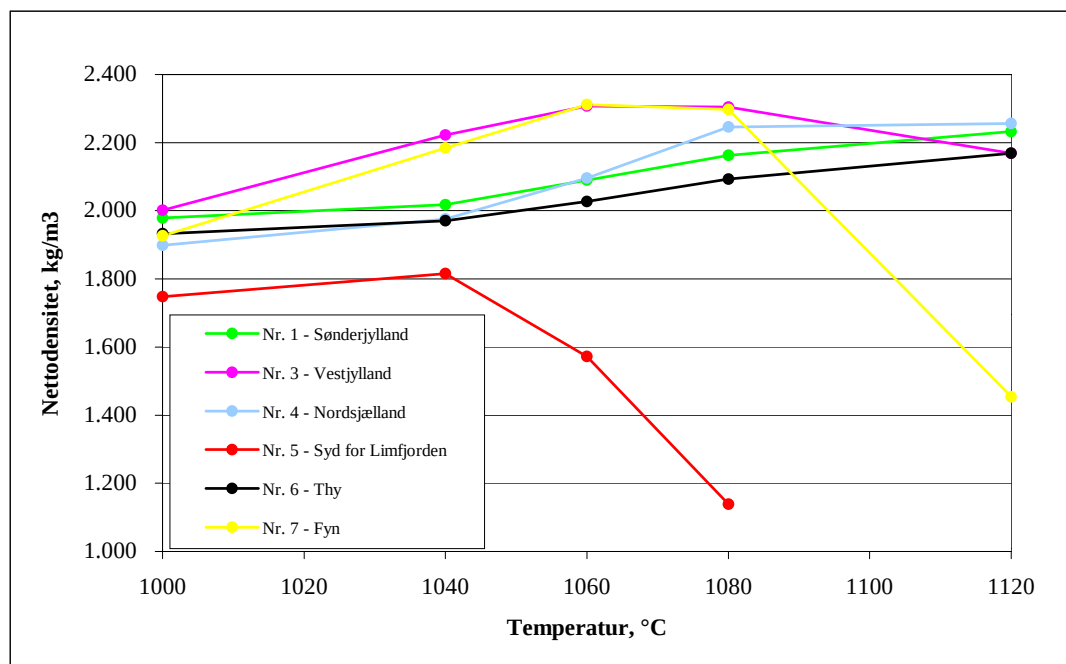
Figur 23 viser minutsugningen som funktion af toptemperaturen, og det ses, at minutsugningen dels er afhængig af lertypen, og dels er afhængig af toptemperaturen. Det ses, at lertype 3, 5 og 7 har lave minutsugningsværdier på under 0,7 kg/m². Dette kan

relateres til lertypernes høje lerindhold, der som før nævnt er i størrelsesordenen 55% til 58%. Det høje lerindhold gør, at de tre lertyper allerede efter brænding ved 1000°C har et stort indhold af glas, der lukker kapillærerne.

De tre resterende lertyper har minutsugningsværdier fra 1,8 kg/m² til 2,7 kg/m². Minutsugningskurverne for lertype 1 og lertype 6 forløber parallelt, hvilket kan relateres til lertypernes kornstørrelsesfordeling, der som før nævnt næsten er ens. At lertype 6 har en ca. 0,8 kg/m² højere minutsugning ved 1000°C end lertype 1 tilægges det ca. 10% højere lerindhold i råleret; forskellen falder gradvist en smule ved højere brændingstemperatur, så den ved 1120°C er 0,6 kg/m².

Lertype 4 skiller sig ud fra de øvrige lertyper ved at have en højere minutsugning end forventeligt på baggrund af lerindholdet samt en større udvikling som funktion af brændingstemperaturen. Minutsugningsværdierne falder fra 2,4 kg/m² ved 1000°C til godt 0 kg/m² ved 1120°C, med det største fald i temperaturintervallet 1040°C til 1080°C. En forklaring på denne udvikling kan være, at lertypens jævne kornstørrelsesfordeling giver flere kornkontakter og derved også flere små porer og kapillærer og således øget minutsugning ved 1000°C. Ved 1080°C er minutsugningen faldet til ca. 0,3 kg/m², hvilket viser, at mineralkornene er sintret sammen og kapillarerne er lukket.

Nettodensitet

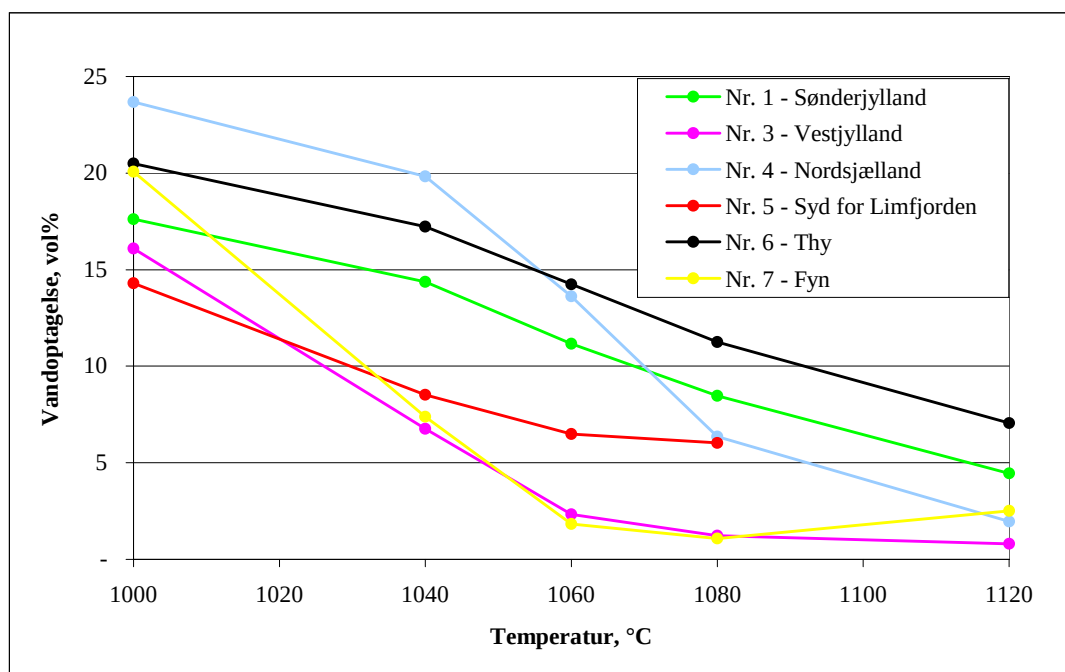


Figur 24. Nettodensitet af brændte prøvestænger som funktion af brændingstemperatur.

Figur 24 viser nettodensiteten af lertyperne som funktion af brændingstemperaturen. Nettodensiteten er omkring 1900 kg/m³ til 2000 kg/m³ ved 1000°C og stiger til ca. 2100 kg/m³ ved 1120°C.

Som før nævnt, og vist i tabel 8, sker der ikke vægttab i temperaturintervallet 1000°C til 1120°C. Da nettodensitet er en funktion af volumen og masse, og massen holdes konstant, sker ændringerne i nettodensiteten som funktion af brændingstemperaturen alene som følge af volumenændringer. Nettodensiteten er derfor direkte relateret til længdesvindet. Det ses da også, at kornkurveforløbene for de forskellige lertypers længdesvind, figur 21, er identiske med kornkurveforløbene for nettodensiteten, figur 24.

Vandoptagelse



Figur 25. Vandoptagelse af brændte prøvestænger som funktion af toptemperatur.

Det ses generelt, at vandoptagelsen er faldende fra omkring 15-20 vol% ved 1000°C til ca. 5 vol% ved 1120°C. Lertype 1 og 6 ses igen at udvikle sig analogt som funktion af brændingstemperaturen, så lertype 6 har et ca. 3 vol% større vandoptag end lertype 1 uanset brændingstemperatur. Lertype 4 har en høj vandoptagelse ved 1000°C på ca. 24 vol%, der falder kraftigt gennem brændingsforløbet til ca. 2 vol%. Det største fald sker i temperaturintervallet 1040°C til 1080°C. For lertype 3 og 7 falder vandoptagelse lineært fra henholdsvis 16 vol% og 20 vol% til ca. 2 vol% i temperaturintervallet 1000°C til 1060°C, hvorefter vandoptagelsen er næsten konstant gennem resten af brændingsforløbet. Lertype 5 har en lav vandoptagelse ved 1000°C på ca. 14 vol% og falder til godt 8 vol% ved 1040°C, hvor opblæringen begynder.

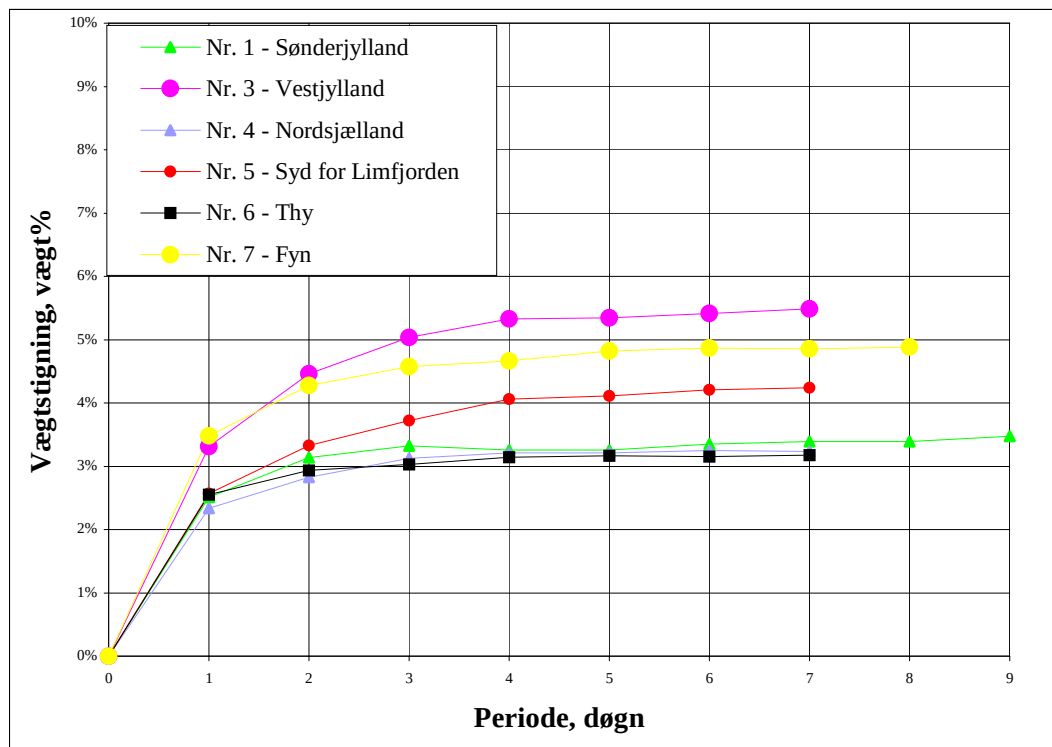
Reabsorption

Reabsorption bestemmes ved den procentvise vægtstigning og længdeøgning af de færdigtørrede prøvestænger, når de placeres i et konditioneringsrum ved 20°C og 65%RH (relativ luftfugtighed), og ligevægt er opnået.

Lertype	Vægtstigning vægt%	Længdeøgning %
Sønderjylland 1	3,5	0,1
Vestjylland 3	5,5	0,5
Nordsjælland 4	3,2	0,2
Syd for Limfjorden 5	4,2	0,1
Thy 6	3,2	0,2
Fyn 7	4,9	0,4

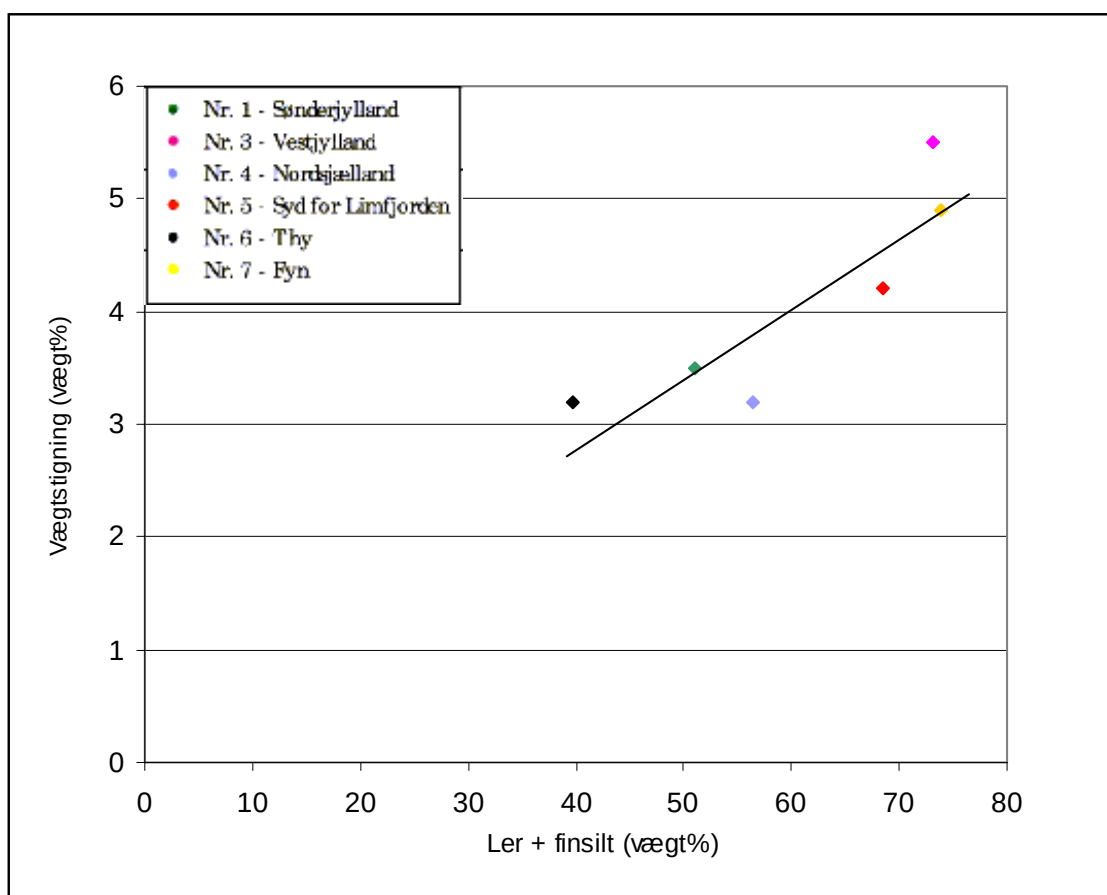
Tabel 10. Vægtstigning og længdeøgning af færdigtørrede prøvestænger

I figur 26 ses vægtstigningen af de færdigtørrede prøvestænger som funktion af tid.



Figur 26. Vægtstigning i vægt% som funktion af tiden af de færdigtørrede prøvestænger.

Vægtstigningen af de færdigtørrede prøvestænger kan relateres til summen af ler og finsilt, se figur 27.

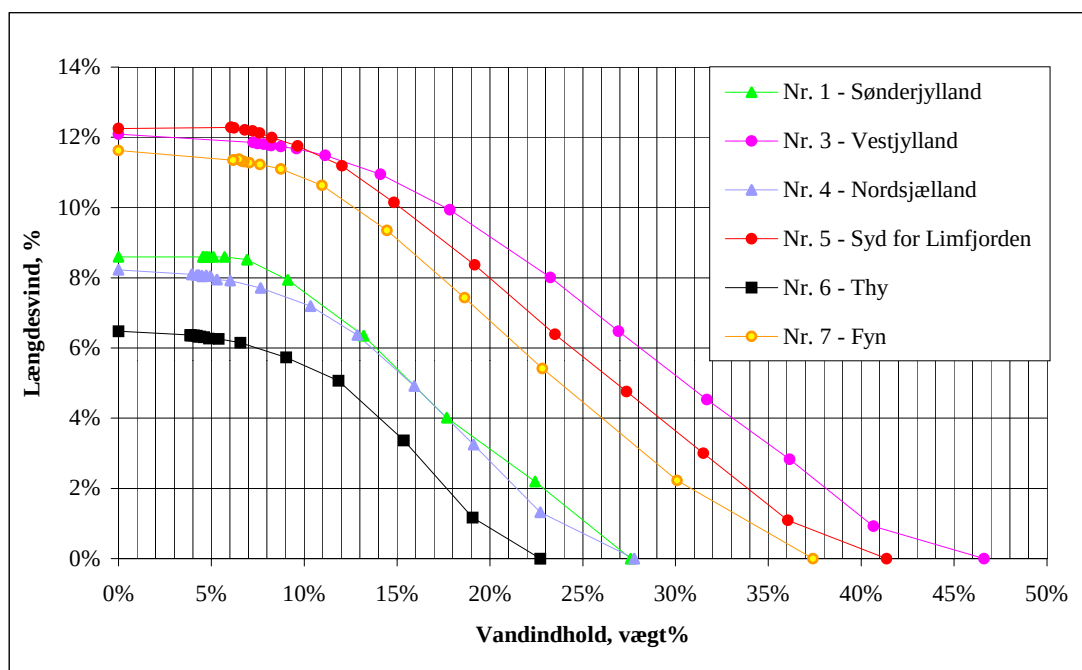


Figur 27. Vægtstigningen som funktion summen af ler og finsilt i lertyperne.

Det ses af figur 27, at vægtstigningen i nogen grad er afhængig af summen af ler og finsilt, så et højere indhold af disse fraktioner giver større vægtstigning. Det forventes, at vægtstigningen også er relateret til den lermineralogiske sammensætning, særligt med hensyn til indholdet af smectit, da dette lermineral kvæller og således vil give stor vægtstigning.

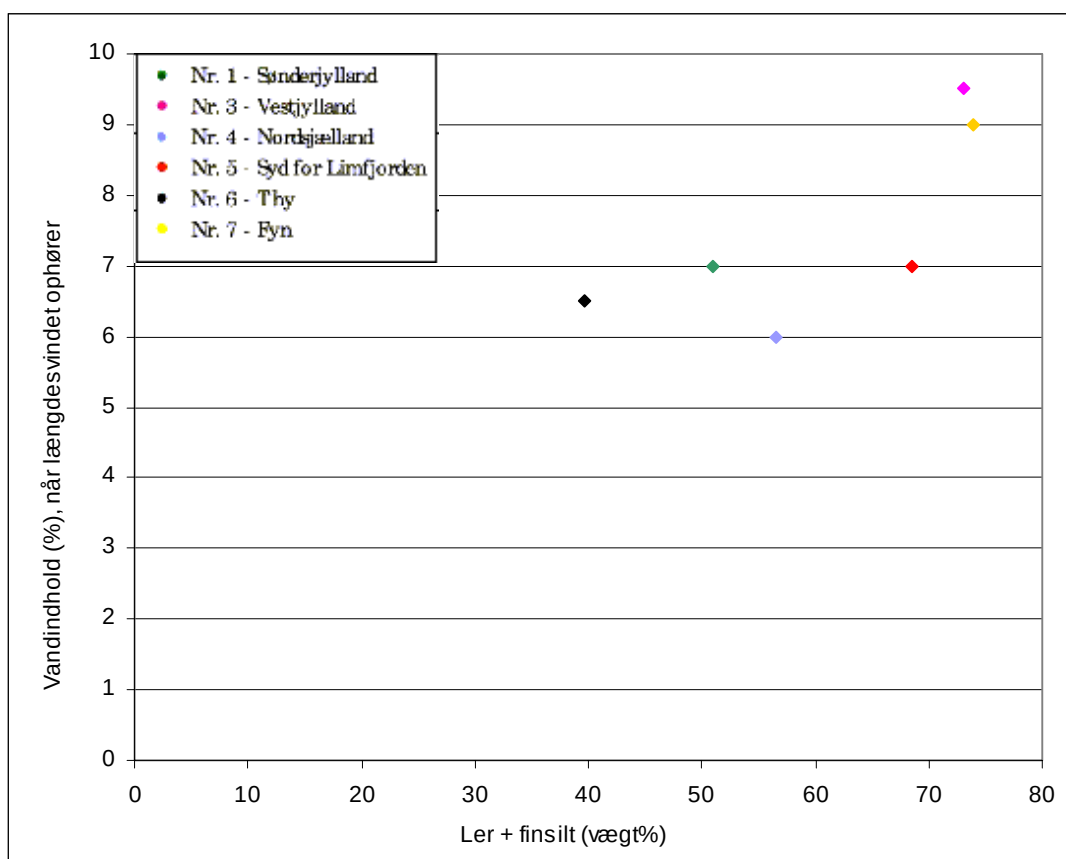
Tørringssvind

Længdesvindet ved tørring som funktion af vandindholdet er vist i figur 28. Disse kurver benævnes bigotkurver.



Figur 28. Bigotkurver for de 6 forskellige lertyper.

Bigotkurverne viser, at lertyperne kan inddeles i to grupper, hvor lertyperne 3, 5 og 7 som udgangspunkt har et højere vandindhold end lertyperne 1, 4 og 6. Vandindholdet er tilpasset så strygningskonsistens opnåes. Restfugtindholdet når længdesvindet ophører, det vil sige når bigotkurverne flader ud, er aflæst og i figur 29 plottet mod summen af ler og finsilt.



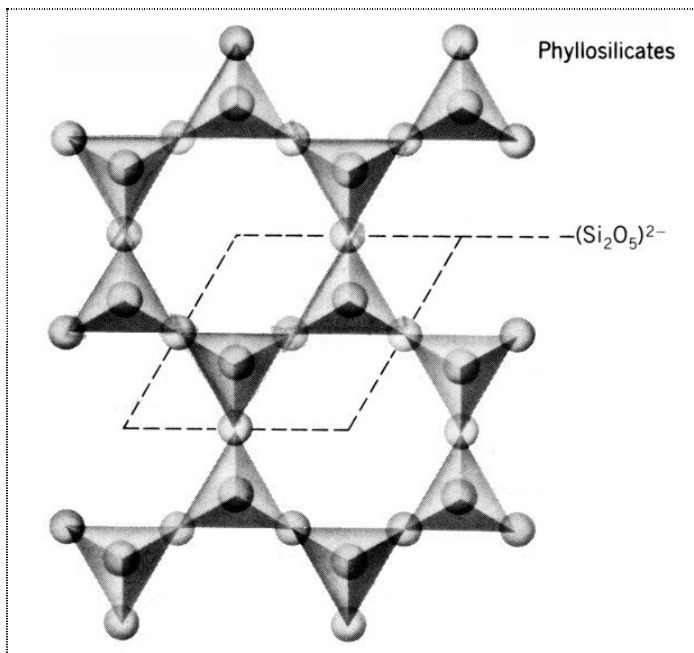
Figur 29. Restfugtindholdet i vægt%, når længdesvindet ophører som funktion af ler+finsilt.

Dette plot er forbundet med nogen aflæsningsusikkerhed på bigotkurverne, og skal naturligvis ses i lyset heraf. Det ses at restfugtindholdet, når længdesvindet ophører, i nogen grad er relateret til summen af ler og finsilt, så en stigning i disse fraktioner giver øget vandindhold. Dette tillægges, at restvandet er bundet til lerminerallerne, og en stigning heraf derfor vil føre til en stigning i restfugtindholdet. Restfugtindholdet må desuden være relateret til den lermineralogiske sammensætning, da forskellige lermineraller binder forskellige mængder vand.

Lermineralogi

Teori

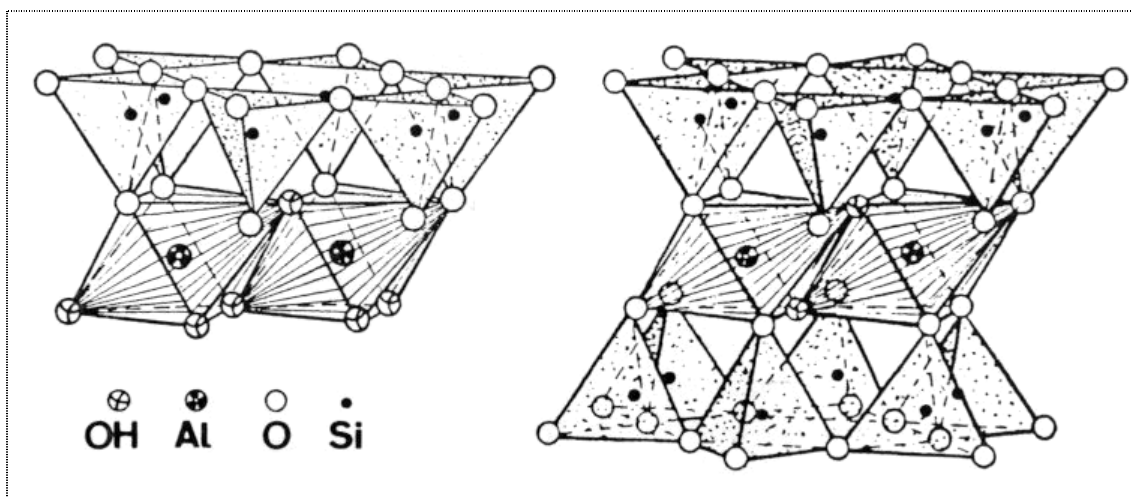
Lermineraller tilhører gruppen af phyllosilikater, der har en lagdelt eller bladformet struktur. Phyllosilikaternes struktur består principielt af et uendeligt udstrakt lag af SiO_4 -tetraedere. I dette lag er 3 af de 4 iltatomer i hvert SiO_4 -tetraeder delt med nabotetraederet (Klein and Hurlbut 1993).



Figur 30. Den strukturelle opbygning af phyllosilikater. Si-atomerne er placeret i midten af tetraederne. Det ses, at SiO_4 tetraederne er forbundet med 3 ud af 4 iltatomer og danner ringe med 6-tals symmetri (modificeret efter Klein and Hurlbut, 1993).

De fleste phyllosilikater er hydroxylbærende, det vil sige, at de indeslutter en OH-gruppe i midten af den sekskantede ring, der dannes af tetraederne (Klein and Hurlbut 1993). Som det fremgår af figur 31 bindes OH-gruppen til et oktaeder samt to iltatomer. Oktaederet har den generelle støkiometriske formel XO_6 , hvor X kan være en divalent kation som Mg^{2+} eller Fe^{2+} , eller trivalent som Al^{3+} (Klein and Hurlbut 1993). Når kationerne er divalente, er der 3 oktaedere omkring OH-gruppen, og når kationerne er trivalente er der 2 oktaedere om OH-gruppen og en tom plads (Klein and Hurlbut 1993).

Lertypen bestemmes af stakningen af tetraeder- og oktaederlag sammen med substitutionerne af Si og Al med andre ioner (Tucker 1991). Lermineralernes struktur er typisk opbygget af et tetraederlag og et oktaederlag, de såkaldte 2-lags mineraler, eller af et oktaederlag mellem to tetraederlag, de såkaldte 3-lagsmineraler, se figur 31.



Figur 31. Den strukturelle opbygning af lerminerale. 2-lagsmineral (til venstre) og 3-lagsmineral (til højre). Modificeret efter Schachtschabel et al. (1989).

Til gruppen af 2-lagsminerale hører lermineralet kaolinit, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Der sker næsten ingen substitution af Si og Al i kaolinit, hvorfor lermineralet har en relativt veldefineret kemisk sammensætning, se tabel 11. Gitterafstanden, det vil sige afstanden mellem lagene for kaolinit er $7\text{\AA}$ ($1\text{\AA} = 10^{-10}\text{ m}$).

Lermineral	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
Kaolinit	45 - 48	38 - 40	0 - 0,2	0 - 0,3	-	-	-	-
Smectit	42 - 55	0 - 28	0 - 30	0 - 0,5	0 - 3	0 - 2,5	0 - 0,5	0 - 3
Illit	50 - 56	18 - 31	2 - 5	0 - 0,8	0 - 2	1 - 4	4 - 7	0 - 1
Vermiculit	33 - 37	7 - 18	3 - 12	0 - 0,6	0 - 2	20 - 28	0 - 2	0 - 0,4
Klorit	22 - 35	12 - 24	0 - 15	-	0 - 2	12 - 34	0 - 1	0 - 1

Tabel 11. Kemisk sammensætning af en række lerminerale. Efter Schachtschabel et al. (1989).

Til gruppen af 3-lagsminerale hører smectitgruppen. Denne er karakteriseret ved at kunne sorbere vandmolekyler i strukturen. Dette gør, at gitterafstanden varierer fra $9,6\text{\AA}$, hvor der ikke er sorberet vand, til $21,4\text{\AA}$ ved 100% relativ luftfugtighed (Tucker 1991). Til smectitgruppen hører lermineralet montmorillonit med en tilnærmet formel $(\text{Al},\text{Mg})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})_4(\text{OH})_8 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (Klein and Hurlbut 1993). Al^{3+} kan substitueres af forskellige divalente kationer som Fe^{2+} , Mg^{2+} og Zn^{2+} , hvilket resulterer i en samlet negativ ladning, der kompenseres for ved binding af andre kationer, typisk Na^+ og Ca^{2+} . Disse er placeret mellem to 3-lagsenheder af smectit, såkaldte interlayer-kationer.

Vermiculit er et lermineral, hvor oktaederne indeholder Mg^{2+} og Fe^{2+} , og hvor Al^{3+} i høj grad substituerer for Si^{4+} på tetraederpositionerne. Dette gør, at vermiculit ikke kvæller. Den store grad af substitutioner i smectit- og vermiculitgruppen gør, at den kemiske sammensætning kan være endog meget varierende, se tabel 11.

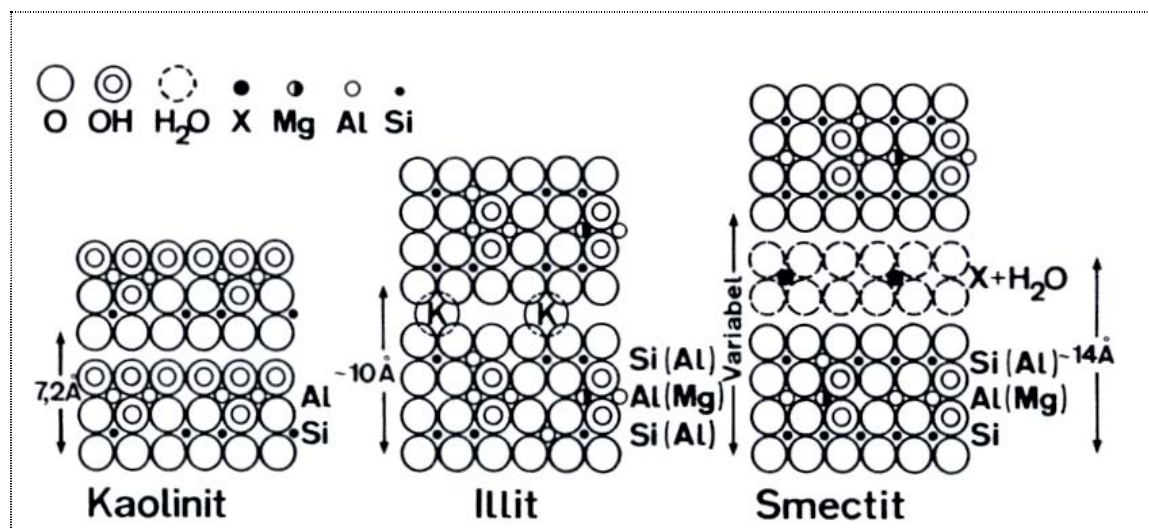
Illit er et 3-lagsmineral, der minder om glimmermineralet muscovit. Al^{3+} substituerer i varierende grad for Si^{4+} på tetraederpladserne, hvilket resulterer i et ladningsunderskud,

der kompenseres for ved at indbygge K^+ i interlayer-positioner (Tucker 1991). Illit indeholder derfor altid K^+ . Gitterafstanden for illit er 10 Å.

Foruden disse lermineraller findes også 4-lagsmineraller som klorit. Desuden findes såkaldte veksellagsmineraller (mixed layer), der eksempelvis kan bestå af skiftende lag af smectit og illit.

Principper bag lermineralogisk analyse

Lermineralogisk analyse foretages med henblik på at bestemme, hvilke lermineraller der er til stede i en prøve. Til dette formål anvendes et røntgendiffraktometer, der er et apparat, der sender en røntgenstråle med kendt bølgelængde (λ) mod et lerpræparat i varierende indfaldsvinkler (θ), og måler den reflekterede stråling. Denne metode genkender de forskellige lermineraller ved deres gitterafstand, se figur 32.



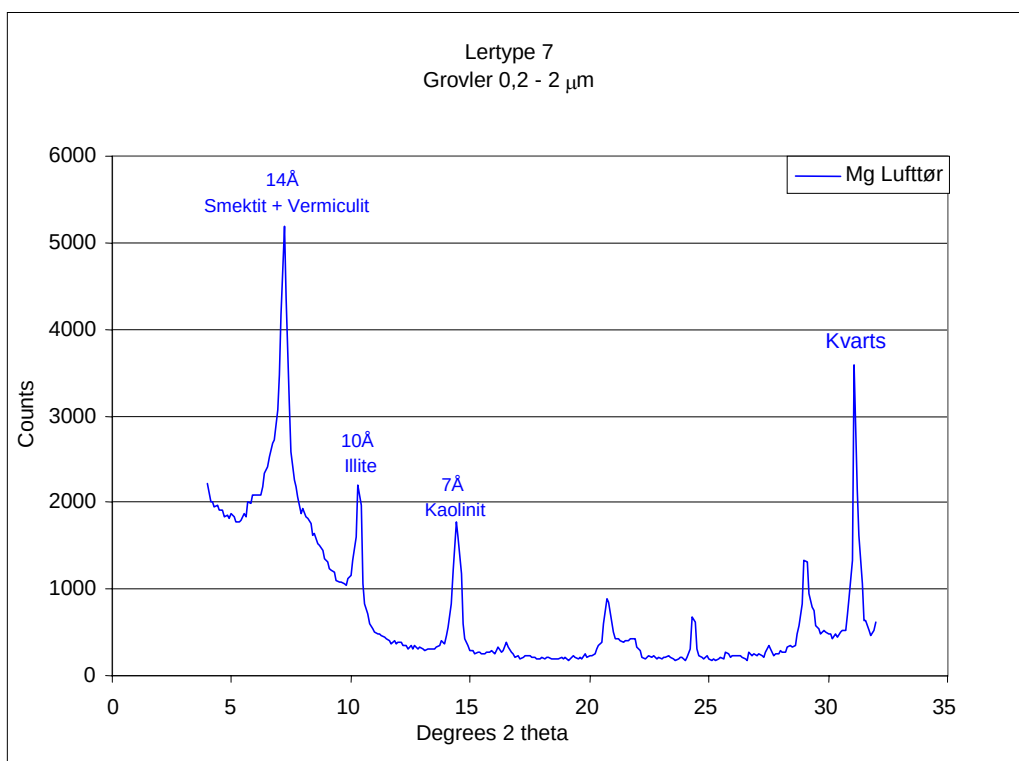
Figur 32. Gitterafstanden for kaolinit, illit og smectit. Modificeret efter Schachtschabel et al. (1989).

Når røntgenstrålen rammer et lermineral, vil der ske konstruktiv interferens ved bestemte indfaldsvinkler (θ) for bestemte gitterafstande (d). Sammenhængen mellem gitterafstanden (d), indfaldsvinklen (θ) og bølgelængden for røntgenstrålingen (λ) beskrives ved Braggs lov:

$$n \lambda = 2 d \sin(\theta)$$

hvor n er refleksionsordnen (1, 2, 3 ...).

Figur 33 viser et røntgendiffraktogram for lertype 7. Vinklen (θ) er afsat ud af x-aksen (som 2θ) og det reflekterede signal op af y-aksen.



Figur 33. Eksempel på et røntgendiffraktogram. Data fra lertype 7.

De rådata man får ved en lermineralogisk analyse, er således et røntgendiffraktogram som vist på figur 33. Udfordringen er, at tolke røntgendiffraktogrammet og så vidt muligt beregne mængdeforholdet mellem de pågældende lermineraller. Dette gøres under antagelse af, at en given top på et røntgendiffraktogram kan relateres til en given mængde af et givet lermineral.

Lermineralogiske analyser

De lermineralogiske analyser er foretaget ved lermineralogisk laboratorium, GEUS.

Metode

Prøverne findeles og sigtes gennem en 250 µm sigte og behandles med natriumacetat, pH 5,5 for at fjerne CaCO_3 .

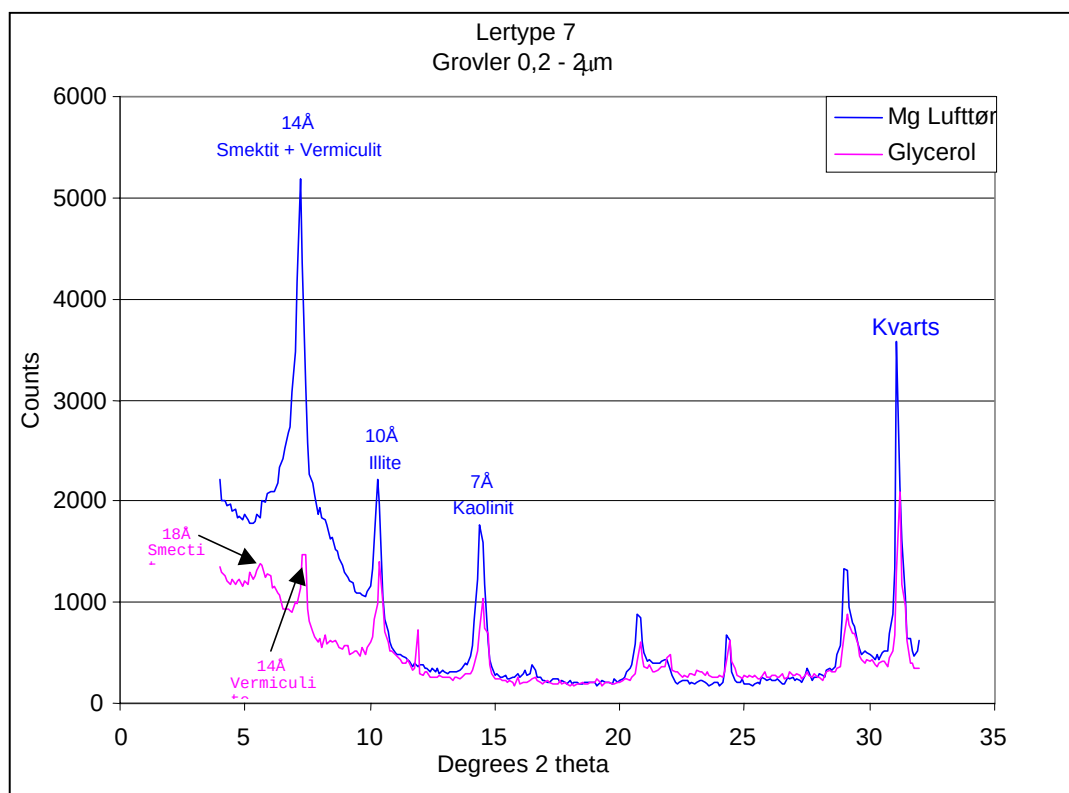
Derefter deles prøven i $> 30 \mu\text{m}$ og $< 30 \mu\text{m}$ ved hjælp af en slemmeflaske. Fraktionerne $2-30 \mu\text{m}$ og $< 2 \mu\text{m}$ deles ved hjælp af en partikelstørrelsescentrifuge, mens finler ($< 0,2 \mu\text{m}$) og grovler ($2-0,2 \mu\text{m}$) fraktioneres i en gennemløbscentrifuge.

Lerfraktionerne ($0,2-2 \mu\text{m}$ og $< 0,2 \mu\text{m}$) mættes med enten kalium eller magnesium. Af de magnesiummættede lerprøver fremstilles magnesiummættede, lufttørre præparater samt magnesiummættede og glycerolerede præparater. Af de kaliummættede prøver fremstilles kaliummættede, lufttørre præparater og kaliummættede, opvarmede (300°C) præparater.

Røntgendiffraktion udføres på orienterede præparater af lerfraktionen ved brug af Philips 1050 goniometer, divergensspalte $\frac{1}{4}^\circ$ og scatterspalte $\frac{1}{4}^\circ$. Der anvendes $\text{CoK}\alpha$ - stråling, filtreret med β - filter og pulshøjdeselektion.

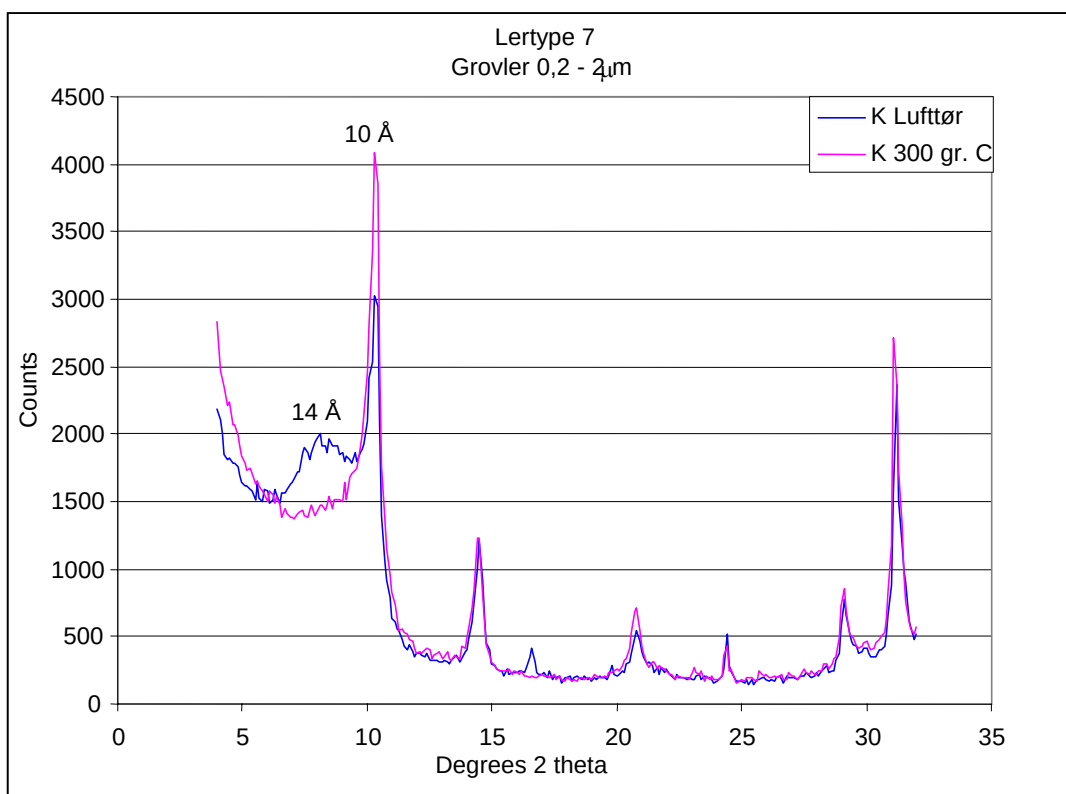
Resultater

Kvantificering af lerminerallerne er her foretaget på baggrund af toparealet på røntgendiffraktogrammet. Arealet af den enkelte top er sat i forhold til det samlede areal af alle toppe for lermineraller i den pågældende lerprøve og omregnet til procent. Metoden antager, at en given mængde af en type lermineraller giver samme udslag på røntgendiffraktogrammet som en tilsvarende mængde af en anden type lermineral. Denne antagelse tager ikke højde for at toparealet påvirkes af blandt andet kornstørrelse og krystallinitet af forskellige lermineraller.



Figur 34. Røntgendiffraktogram for grovlerfraktionen af lertype 7. Mg lufttør og glycerolbehandlet.

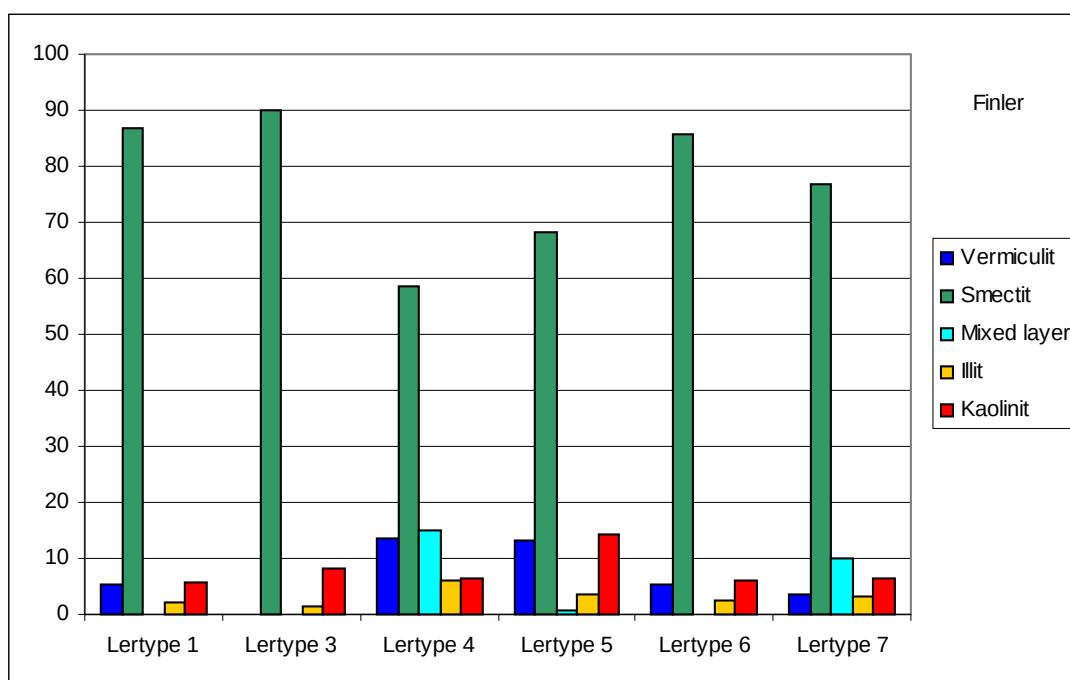
Figur 34 og figur 35 er medtaget som eksempel på, hvordan røntgendiffraktogrammerne i bilag 4 læses. På figur 30 angiver den blå kurve det lufttørre og magnesiummættede præparat, og den lyselilla det glycerolbehandlede og magnesiummættede præparat. Det førstnævnte præparat viser en række toppe på røntgendiffraktogrammet, der angiver mineralerne smectit+vermiculit, illit, kaolinit og kvarts. Ved at behandle prøven med glycerol adskilles smectit og vermiculit i to toppe, da smectit kvæller og giver en top ved 18Å, mens toppen for vermiculit forbliver ved 14Å. Dette ses ved den lyselilla kurve på figur 34.



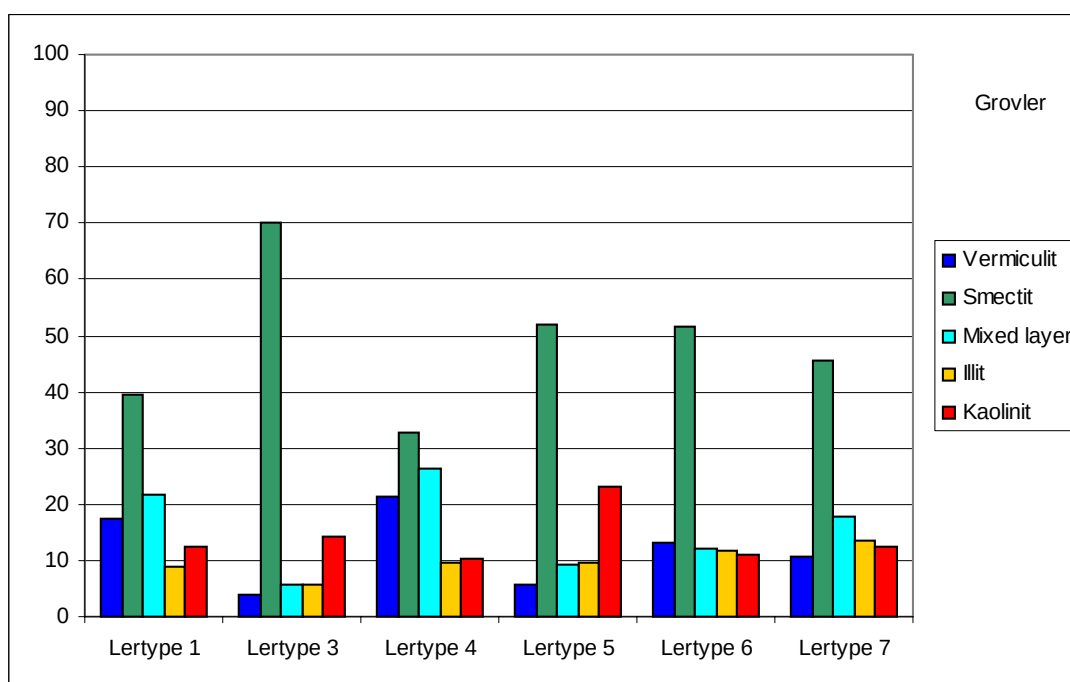
Figur 35. Røntgendiffraktogram for grovlerfraktionen af lertype 7. K lufttør og K 300°C.

Figur 35 viser røntgendiffraktogrammet fra kaliummættede prøver. Når prøverne opvarmes til 300°C klapper lermineralstrukturen sammen til 10 Å, hvis der ikke er klorit i prøven. Hvis klorit er tilstede forbliver der en top ved 14 Å. Dette ses svagt ved grovlerfraktionen af lertype 5, se bilag 4, men ikke ved de øvrige lertyper, hvorfor de ikke indeholder større mængder klorit.

Figur 36 og 37 viser de beregnede indhold af forskellige lermineraller for henholdsvis finler og grovler.



Figur 36. Lermineralogi af finlerfraktionen (< 0,2 µm).



Figur 37. Lermineralogien af grovlerfraktionen (0,2-2 µm).

De fundne lermineraller udgøres af vermiculit, smectit, veksellagsmineraller (mixed layer, smectit-illit), illit og kaolinit.

Det mest almindeligt forekomne lermineral i finlerfraktionen er smectit, med et indhold på 86-90% for lertyperne 1, 3 og 6. Lertype 7 har et lidt lavere indhold, men til gengæld lidt højere indhold af veksellagsmineraller. Lertype 5 har lavere indhold af smectit (68%), og her

udgør kaolinit og vermiculit hver ca. 15%. Lertype 4 har det laveste smectitindhold (59%) samtidig med ca. 15% veksellagsmineraller og ca. 15% vermiculit.

Illitindholdet er i samtlige lere lavt, ca. 2-6%

I grovlerfraktionen falder indholdet af smectit, så det udgør ca. 50% for lertyperne 5, 6 og 7, ca. 70% for lertype 3, ca. 40% for lertype 1 og 33% for lertype 4. Indholdet af veksellagsmineraller varierer mellem 6-26%, og varierer sådan, at lertyper med højest smectitindhold har lavest indhold af veksellagsmineraller. Kaolinit udgør 10-14% for alle lertyper på nær lertype 5, hvor indholdet er 23%. Illitindholdet er ca. 10%, i lertype 3 dog lidt mindre.

Af den lermineralogiske analyse ses, at lertype 4 skiller sig ud ved et lavere smectitindhold, et højere indhold af veksellagsmineraller og delvist højere indhold af vermiculit end de øvrige lertyper. Lertype 5 har lavere indhold af smectit i finlerfraktionen samt et højere indhold af kaolinit end de øvrige lertyper. Lertype 3 skiller sig muligvis også ud ved et højere smectitindhold, særligt i grovlerfraktionen.

Opsamling og anbefalinger

De analyserede lertyper skiller sig overordnet ud i to grupper. Første gruppe består af lertyperne 3, 5 og 7, der har et højt lerindhold på over 50% ler, den anden gruppe af lertyperne 1, 4 og 6.

Kornkurverne for lertype 3 og 7 er næsten identiske og bimodale på grund af lavt indhold af mellem- og grovsilt. Lertype 5 har højt ler- og siltindhold og indeholder næsten intet sand.

Lertype 1 og 6 har næsten identiske og bimodale kornkurver, lerindholdet i lertype 1 er godt 10% højere end lertype 6. Lertype 4 er som lertype 1, men har en jævn kornkurve.

Lertyperne med højt lerindhold har den største bøjningstræk- og trykstyrke ved brændingstemperaturer indtil 1040°C. Ved temperaturer herover medfører det høje lerindhold smeltning, så lertyperne med lavere lerindhold får højere værdier.

Lertype 1 og 6 har næsten parallelle kurveforløb gennem samtlige tegltekniske analyser. Da lertype 1 og 6 alene adskiller sig fra hinanden ved lerindholdet, og da kurveforløbene for de tegltekniske egenskaber er parallelle kan det for brændingstemperaturer, hvor der ikke sker smeltning konkluderes, at højere lerindhold giver:

- Større bøjningstræk- og trykstyrke
- Større væggtab ved brænding
- Større længdesvind ved brænding
- Mindre minutsugning
- Større nettodensitet
- Mindre vandoptagelse

Hertil kommer større risiko for opblæring og smeltning, og hvor sulfat er bundet i lerfraktionen også større risiko for misfarvning af stenen.

Kornkurvens virkning på de tegltekniske egenskaber kan ses ved hjælp af lertype 4, der i modsætning til lertype 1 og 6 ikke har bimodal kornkurve. Det konkluderes, at en jævn kornkurve giver:

- Større bøjningstræk- og trykstyrke
- Uændret vægttab ved brænding
- Uændret længdesvind ved brænding
- Mindre minutsugning
- Uændret nettodensitet
- Mindre vandoptagelse

Hertil kommer mindre risiko for opblæring og smeltning.

Bimodale kornkurver afsløres først, når der foreligger komplette kornstørrelsesanalyser. Dette giver yderligere mulighed for at simulere blandinger af forskellige ler-, silt- og sandforekomster, og derved ramme en ønsket kornkurve. En sådan simulering kan relativt hurtigt foretages ved hjælp af regneark på en pc, hvilket anbefales at gøre, da det letter optimeringen af kornkurven.

Lerets kemiske sammensætning har betydning for dets smeltepunkt og derfor også for ved hvilken temperatur, en lertype kan brændes. Højt indhold af Ca sænker smeltepunktet, men da Ca-indholdet typisk er lavt i rødbrændende ler bliver K og Na betydende for brændingstemperaturen. Dette er sandsynligvis årsagen til, at lertype 7 smelter ved lavere temperatur end lertype 3. De to lertyper har næsten identiske kornkurver, men lertype 7 har små 0,5% højere indhold af $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$. Det absolut højeste indhold af $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ findes i lertype 4. Dette kan ikke registreres ved de tegltekniske egenskaber, hvilket muligvis skyldes, at lertypens jævne kornkurve i nogen grad overskygger effekten af $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$.

Den lermineralogiske analyse viser, at lermineraller udgøres af smectit, vermiculit, kaolinit, veksellagsmineraller og illit. De tegltekniske egenskaber er ikke tolket i forhold til lermineralogien.

Vurdering af lermineralogiens betydning ved brænding

Som nævnt i forbindelse med afsnittet om lerbrænding omdannes lerminerallerne ved brænding. Dette er i modsætning til eksempelvis kvarts, der ikke omdannes. Man kan således inddele råleret i en aktiv fase, der omdannes, og en inaktiv fase, der ikke omdannes ved brænding.

Problemstillingen er, i hvilken grad den mineralogiske sammensætning af den aktive del af råleret har betydning for de tegltekniske egenskaber. Altså om en kemisk analyse, der ikke tager hensyn til i hvilke mineraller de kemiske komponenter er bundet, er tilstrækkelig og gør en egentlig mineralogisk analyse unødvendig.

En sådan problemstilling lader sig ikke løse med det datasæt, der er tilgængeligt i forbindelse med indeværende projekt. Dels kendes den kemiske sammensætning af lerfraktionen ikke, og dels varierer de 6 lertyper ganske meget med hensyn til de øvrige parametre (indhold af ler kornstørrelsessammensætning osv.), hvorfor det er vanskeligt, at isolere bidraget fra lermineralogien.

Det anbefales, at iværksætte en undersøgelse af ovenstående problemstilling, da det er ønskeligt at kunne kontrollere de tegltekniske egenskaber mest muligt.

Alternative råmaterialer

Anvendelsen af alternative råmaterialer til teglproduktion har flere formål. Dels er det ønskeligt at genanvende restmaterialer, der ellers skulle bortskaffes ved deponi eller forbrænding, og dels er det vigtigt at finde alternative materialer, så råstofreserverne, der udgør en begrænset ressource, kan strækkes yderligere.

Der er gennemført et studie af renere teknologi i Tegl- og Mørtelbranchen (Murværkscentret 1999). I dette studie er en række alternative råmaterialer gennemgået. Som alternativt råmateriale til ler nævnes blegejord, ler fra anlægsarbejde, sukkerroejord, havneslam og slam fra grusgrave. Blegejord kan ikke anbefales på baggrund af en konkret undersøgelse af dette materials egenskaber (Murværkscentret 1993). Ler fra anlægsarbejder bedømmes til at have begrænsede anvendelsesmuligheder, da tilgangen vil være begrænset i tid. Sukkerroejord vurderedes til at kunne erstatte sand til magring efter fraktionering f.eks. ved hjælp af hydrocyklon, men ikke erstatte den plastiske komponent i teglværksleret.

I indeværende arbejde diskuteres anvendelsen af 3 alternative råmaterialer: Havneslam, slam fra Tjæreborg og flyveaske.

Havneslam

Havneslam er det materiale, der opgraves i forbindelse med oprensning af havne og floder. Det anvendes til fremstilling af tegl i Tyskland og kunne således også være en mulighed i Danmark. Der er dog forskelle, der sandsynligvis vil vanskeliggøre anvendelse af dansk havneslam. Dette gælder primært, at man i Tyskland anvender slam der er aflejret i floder, f.eks. Elben, som har et lavt indhold af salte sammenlignet med slam fra danske (saltvands-) havne. Herudover indeholder havneslam fra f.eks. Københavns Havn endog meget høje koncentrationer af flygtige tungmetaller som kviksølv og cadmium, se tabel 12.

Normalt anses tungmetaller ikke for at være et problem i teglværksler, men er der meget højt indhold af flygtige tungmetaller som f.eks. kviksølv eller cadmium, kan dette udgøre et problem, ligesom forhøjet indhold af tungmetaller muligvis kan være et problem ved senere genanvendelse af teglet (Murværkscentret 1999).

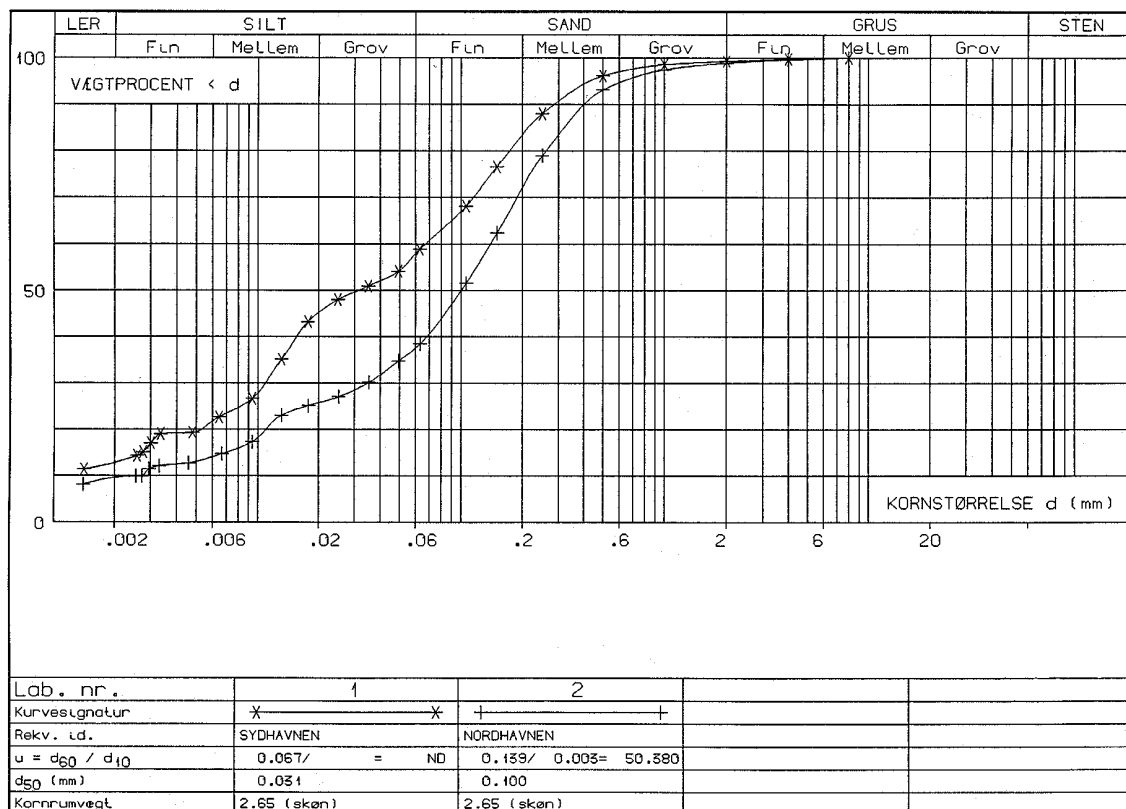
	Zn	Cu	Pb	As	Cd	Hg	Se	Cr	Ni
Kvartært ler	52,1	21,9	13,6	6,7	0,13	0,021	0,24	83	30
Ler, Ribe Amt	68,7	27,3	18,6	14,8	0,12	0,049	0,44	109	47
Tertiært ler	57,4	17,3	15,2	21,8	0,10	0,050	0,91	132	28
Havneslam	5,7	69,5	116,0	5,7	2,30	7,500		34	25

Tabel 12. Analyseresultaterne for havneslam er fra Miljøkontrollen, København.

Det ses i tabel 12, at der er små forskelle i indholdet af tungmetaller imellem de forskellige naturlige lerbjergarter, men stor forskel på disse og havneslam fra København. Sidstnævnte er forurenede med f.eks. kviksølv (Hg), cadmium (Cd) og bly (Pb).

Havneslam antages at være sammenligneligt med andre marine sedimenter, hvilket eksempelvis vil sige, at det gennemsnitlige glødetab i havneslammet fra København på 6,8%, hvilket svarer til 1% til 2% organisk kulstof (TOC). Dette er meget højt sammenlignet med såvel almindeligt teglværksler og tertiært ler, og vil kunne udgøre et problem.

Som det fremgår af kornkurven på figur 38, består havneslam fortrinsvis af silt og finsand, og vil derfor fortrinsvis gå ind i teglværksleret som magringsmiddel.



Figur 38. Kornkurve for havneslam fra Sydhavnen og Nordhavnen, København.

Flyveaske

Der er gennemført danske studier af mulighederne for at udnytte flyveaske til produktion af mursten (Bacher et al. 1986, Ernstsén et al. 1990), samt et stort antal udenlandske studier. Det er gennem disse studier godtgjort, at det kan lade sig gøre at fremstille facadesten af blandinger af almindeligt teglværksler og flyveaske. Der er dog en række forhold, der skal tages højde for, når flyveaske iblandes råleret.

Flyveaskens kemi

Der er i forbindelse med indeværende projekt indhentet kemiske analyser af flyveaske fra Fynsværket, Asnæsværket, Amagerværket, Stignæsværket, Studstrupværket og Enstedværket, se tabel 13. Analyserne er stillet til rådighed af Danaske I/S og vedlagt i bilag 6.

	Fyns- værket	Asnæs- værket	Amager- værket	Stignæs- værket	Studstrup- værket	Ensted- værket
SiO ₂	51,41	55,60	48,58	54,73	49,92	52,37
Al ₂ O ₃	27,96	24,14	26,52	23,45	28,67	26,68
Fe ₂ O ₃	4,89	6,19	7,18	6,14	5,91	4,92
CaO	5,41	3,63	4,47	4,63	4,94	6,19
MgO	1,42	1,53	2,26	1,68	1,98	1,68
SO ₃	0,78	0,61	0,55	0,65	0,73	0,67
K ₂ O total	0,92	1,60	2,17	1,51	1,71	1,09
Na ₂ O	0,13	0,34	0,88	0,52	0,51	0,15
Na ₂ O ækv.	0,74	1,33	2,30	1,50	1,64	0,86
SIM	1,57	1,84	1,45	1,85	1,45	1,66
ALM	5,81	4,03	3,84	3,85	4,92	5,70
Glødetab	4,11	4,60	4,87	4,57	2,86	3,00
Periode	8.8-1999 til 3.3-2000	8.8-1999 til 31.3-2000	7.5-1999 til 24.3-2000	1.6-1998 til 30.3-2000	15.7-1999 til 31.3-2000	14.6-1999 til 27.3-2000

Tabel 13. Kemiske analyser af flyveaske fra Fyns-, Asnæs-, Amager-, Stignæs-, Studstrup- og Enstedværket.

Resultaterne af de kemiske analyser er samstemmende med de kemiske analyser, der blev foretaget i forbindelse med Bacher et al.'s studie i 1986. Der kan således ikke registreres en ændring i flyveaskens sammensætning i dette tidsrum.

Det mest iøjefaldende ved flyveaskens kemiske sammensætning er det høje indhold af aluminium, der næsten ligger en faktor 2 over typisk fedt ler. Aluminium i flyveasken afspejler indholdet af mineralet mullit (Al₆Si₃O₁₅), som kun sjældent optræder naturligt, men typisk opstår i forbindelse med brænding af kaolinitrige lertyper. Derudover ses et meget lavt indhold af alkalier (Na₂O + K₂O). Da alkalierne virker som fluxmiddel betyder det lavere indhold, at flyveasken vil trække lerblandingen over i retning af de lerblandinger fra Ribe Amt, der erfaringsmæssigt kan brændes ved højere temperaturer.

Endelig har flyveasken et indhold af restkul, som kan give et energitilskud ved brændingen, men som også kan give risiko for opblæring i rødt tegl.

Sulfat

Sulfatindholdet (SO₄) i flyveaske er umiddelbart for højt og vil give udblomstringer af salte på den færdige sten. Normalt regnes et indhold af sulfat, omregnet til svovltrioxid på 0,25% for maksimalt i teglværksleret (Bacher et al. 1986). Flyveasken skal derfor forbehandles med bariumkarbonat (BaCO₃) under styring af pH ved hjælp af fosforsyre (H₃PO₄). Er pH over 7 i forbindelse med bariumkarbonattilsætningen bliver aktiviteten af bariumionen, Ba²⁺, for lav til en effektiv sulfatfældning som bariumsulfat, BaSO₄ (Bacher et al. 1986). Det anbefales af anvende fosforsyre H₃PO₄, da den ikke tilfører blandingen letopløselige anioner eller andre uønskede stoffer. Herudover vil et eventuelt overskud af fosforsyre sammen med flyveaskens calciumindhold danne en stødpude, som kan modvirke kraftige og hurtige pH-stigninger efter syretilsætning.

Tørringssvind

Tørringssvindet skal, som tidligere nævnt normalt ligge mellem 2% og 7%. Tørringssvindet er relateret til indholdet af vand i leret, og primært det vand, der findes som frit vand i porerne. I forbindelse med flyveaskeforsøgene (Bacher et al. 1986) blev tørringssvindet fundet at være i størrelsesordenen 7,9% til 10,8%. Dette tillægges primært for højt indhold af de fineste fraktioner i den såkaldte grovfraktion, det vil sige fraktionen over 20 µm.

Kornstørrelsesfordelingen

Til bestemmelse af kornstørrelsesfordelingen blev der i ovennævnte undersøgelser brugt den traditionelle metode, hvor råmaterialet inddeles i de tre fraktioner, fin- mellem- og grovfraktion. Dette viste sig problematisk, da flyveaske befinder sig indenfor et snævert kornstørrelsesinterval, hvilket denne metode ikke tager højde for.

Lerblandingens konsistens

Lerblandingens konsistens måles ved hjælp af en Mertzkegles nedsynkning i leret. Skal stenen formes ved strengpresning må nedsynkningen almindeligvis være mellem 1 mm og 3 mm. I forbindelse med flyveaskeforsøgene blev det fundet, at der var behov for stor tilsætning af vand, for at få denne lerkonsistens. Dette skyldes et indhold af fri kalk, CaO og calciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i flyveasken, samt at rålerets grovfraktion var for finkornet. Vandindhold blev fundet problematisk, da det afstedkom betydelige saltudtræk og stort tørringssvind.

Brændingssvind

Svindet, der opstår i forbindelse med sammenkitningen af kornene under brændingen kaldes brændingssvind. Den acceptable grænse for brændingssvind er omkring 4%. Brændingssvindet på flyveaskeblandingerne i forbindelse med flyveaskeforsøgene lå generelt mellem 0% og 2%, hvilket er uproblematisk.

Tegltekniske egenskaber

De fremstillede sten med flyveaske havde lavere netto- og bruttodensitet, større vandoptagelse og minutsugning, samt større trykstyrke og eventuelt også større frostbestandighed end sten fremstillet uden flyveaske.

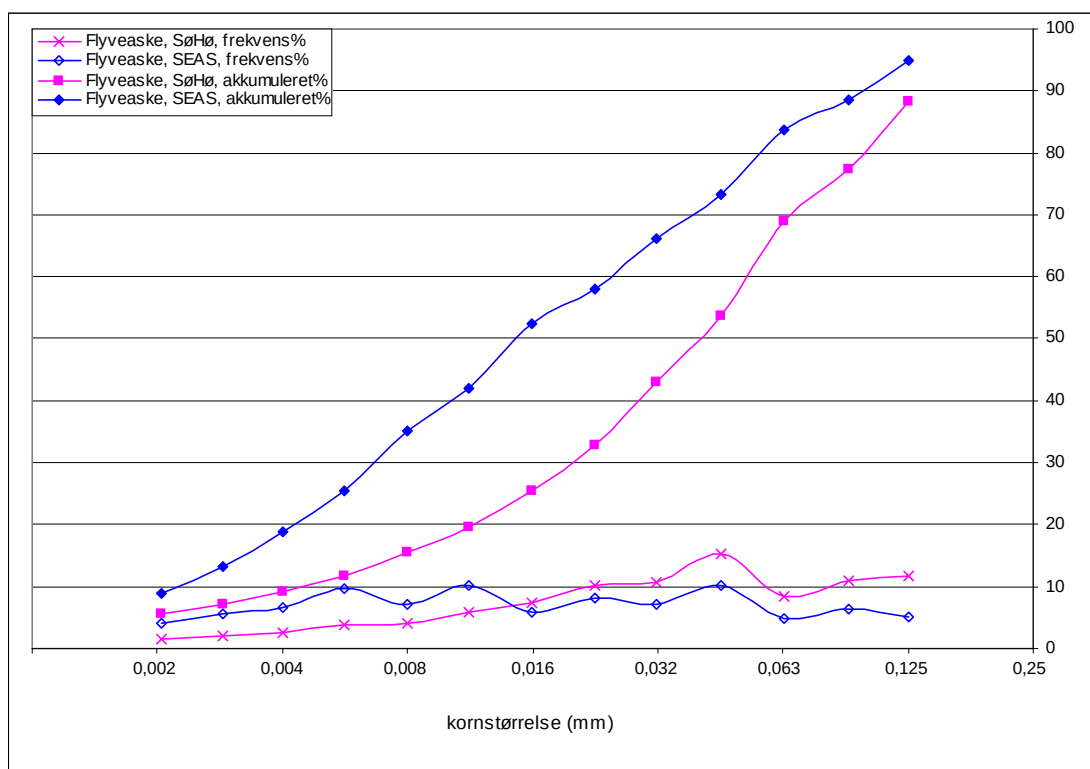
Sintringsintervallet er større for lerblandinger med flyveaske, og det er påvist, at ler med flyveaske har en hurtigere styrkeudvikling end ler uden flyveaske. Det betyder, at stenen får sin styrke ved lavere temperatur end ellers, hvilket eventuelt kunne sænke brændingstemperaturen eller brændingstiden, uden det går ud over stenens styrke (Bacher et al. 1986).

Diskussion af flyveaske som tilsætning til teglværksler

Denne diskussion er baseret på ovenfor nævnte undersøgelser, Flyveaske i tegl (Bacher et al. 1986) og Flyveaske i tegl, supplerende undersøgelser (Ernstsens et al. 1990), samt nye data og metoder til at styre blandingsforhold og sammensætning af forskellige komponenter i teglværksler. De primære problemer med tilsætning af flyveaske er tørringssvind, vandindhold, sulfatudtræk og kornstørrelsesfordeling.

Da flyveaske befinder sig i et snævert kornstørrelsesinterval omkring siltfraktionen vil teglværksler iblandet flyveaske ikke egne sig til at blive beskrevet ved hjælp af trekantsplot med grovfraction ($> 20 \mu\text{m}$), mellemfraktion ($1,25 \mu\text{m}$ til $20 \mu\text{m}$) og finfraktion ($< 1,25 \mu\text{m}$), da denne metode ikke tager højde for kornstørrelsesvariationer indenfor den enkelte kornstørrelsesfraktion. Der er således risiko for, at for stor en del af grovfractionen udgøres af silt.

Kornstørrelsesfordelinger i flyveaske, som de blev fundet i ovenstående studie, er vist i figur 39.



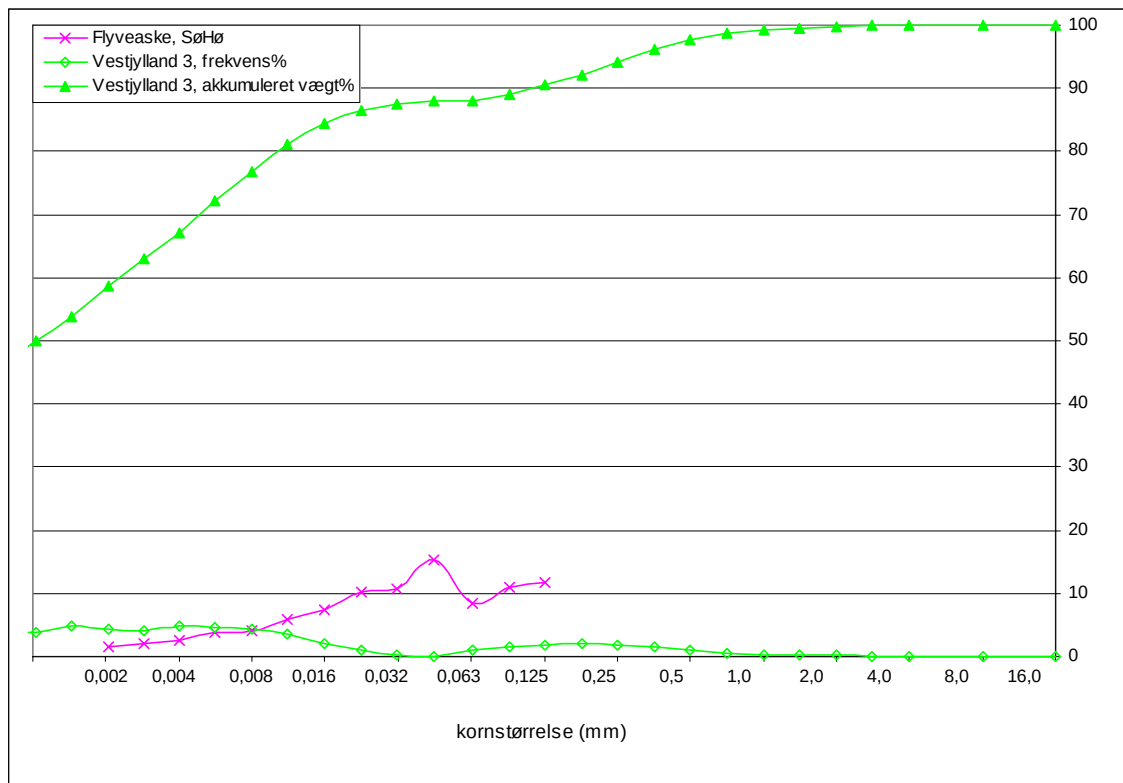
Figur 39. Kornstørrelsesfordelingen af flyveaske (data efter Bacher et al 1986).

Kornstørrelsesfordelingerne er i figur 39 både vist som frekvens% og akkumuleret%. Det ses, at 63,5% af prøven SøHø (Sønderjyllands Højspændingsværk) og 74,6% af prøven SEAS består af silt. Lerindholdet er omkring små 10% og sandindholdet 31,0% for SøHø og 16,4% for SEAS. Kornstørrelsesfordelingen indenfor siltintervallet er relativ jævn, med en lille top omkring mellem til grovsilt.

Teglværksler er ofte en blanding af en fed ler og et magringsmiddel, der kan være en mager ler eller sand. Dette ses typisk på teglværkslerets kornstørrelsesfordeling som et

indhold af ler og fin- til mellemsilt, der aftager, når kornstørrelsen når mellem- til grovsilt. Herefter stiger indholdet som følge af tilsætningen af sand. Kornkurven for teglværksler er derfor bimodal i større eller mindre grad, da kornstørrelserne omkring mellem- til grovsilt typisk mangler.

Lertypen Vestjylland 3 er her taget som eksempel på en råler og vist i figur 40.



Figur 40. Kornstørrelsesfordelingen af lertypen Vestjylland 3 og flyveaske, SØHØ (Sønderjyllands Højspændingsværk, fra Bacher et al. (1986)).

Figur 40 viser kornstørrelsesfordelingen af lertypen Vestjylland 3 og af en flyveaskeprøve (SØHØ, Bacher et al. 1986). Det ses, at råleret har et kornkurveforløb som beskrevet ovenfor med manglende indhold af kornstørrelser omkring mellem- til grovsilt (0,02 mm til 0,063 mm). Det ses endvidere, at flyveasken har stort indhold af kornstørrelserne mellem- og grovsilt, altså netop de kornstørrelser, der mangler i lertypen Vestjylland 3 for at rette kornkurven op, så den ikke er bimodal.

Tænker man sig en blanding af de to viste kornkurver i et passende forhold, vil det give en kornkurve, hvor alle kornstørrelser er mere ligeligt repræsenteret. En sådan kornkurve vil som tidligere nævnt teoretisk føre til bedre pakning af kornene, der igen betyder flere kornkontakter, hvor de enkelte korn kan sintre sammen, og således give det endelige produkt højere belastningsstyrke.

Resultaterne af de undersøgte lertyper i indeværende rapport viser da også, at råler med en jævn kornkurve kan brændes til bedre tegltekniske egenskaber end råler med mere bimodal kornstørrelsesfordeling.

Delkonklusion og anbefalinger

Den væsentligste indvending i forhold til flyveasken er indholdet af sulfat, der umiddelbart er for højt. Sammenlignes flyveasken med f.eks. ler fra de tertiære formationer, har flyveasken generelt et væsentlig lavere indhold af svovl/sulfat ca. 0,3% S mod ca. 1% S gennemsnitligt i det oligocæne og miocæne ler. Da det har vist sig muligt at anvende ca. 10% tertiært ler (Højslev Teglværk), er det sandsynlig, at det vil være muligt at anvende lignende mængder flyveaske til teglfremstilling.

Der kan peges på en række potentielle fordele ved at anvende flyveaske som alternativt råmateriale:

- Optimering af teglværkslerets kornkurve
- Mindre træk på de primære lerressourcer.
- Lavere energiforbrug (energibidrag fra restkul).

I perioder hvor der arbejdes med en meget våd lerblanding, vil der også kunne opnås en besparelse i tilsætningen af hydratkalk.

Det er i indeværende arbejde sandsynliggjort, at optimering af kornkurven til en jævn kornstørrelsesfordeling kan resultere i bedre tegltekniske egenskaber. Da flyveaske netop rammer det kornstørrelsesinterval, der mangler i almindeligt teglværksler for at rette kornkurven op, synes det oplagt at iværksætte nye forsøg med tilsætning af flyveaske i teglværksler. Den primære udfordring er som nævnt at binde sulfaten, hvilket Bacher et al. (1986) og Ernstsen et al. (1990)'s studier har vist er muligt, når pH-værdien styres. Nye forsøg tænkes som en videreførelse af disse studier, men med fuldstændige kornkurver for ler, flyveaske og sand.

Med hensyn til tilgangen af flyveaske kan det nævnes, at der foruden de allerede nævnte værker, også findes mindre lokale fjernvarmeværker, hvor bortskaffelsen af flyveaske udgør problemer.

Det skal bemærkes, at de viste data er fra aske fra kulfyrede værker. I forbindelse med flyveaske fra halmfyrede værker skal man foruden sulfatindholdet være opmærksom på et højt indhold af klorid, der kan give misfarvninger på stenen

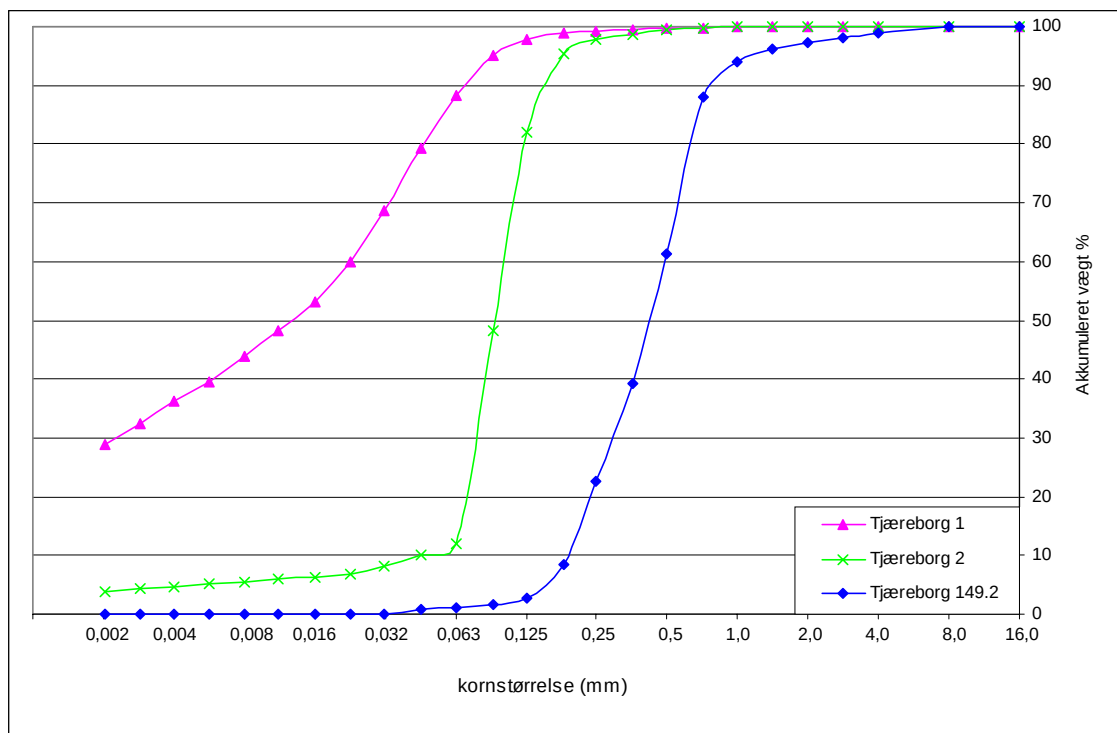
Slam fra Tjæreborg

I forbindelse med produktionen af sand og grus ved Tjæreborg i Vestjylland opstår et restprodukt med forskellig kornstørrelse i forskellig afstand fra det rør, der leder vaskevand og slam bort fra soldene i produktionen. Der er lavet sigteanalyser på to prøver af spildprodukter taget i forskellig afstand fra dette rør, prøven tjæreborg 1 og tjæreborg 2.

Prøverne er ikke analyseret med hensyn til kemi, og et problem ved at anvende slam fra grusgrave er ofte, at det indeholder kalk. Det forventes imidlertid ikke at udgøre et problem

ved Tjæreborg, da råstofforekomsterne ligger i Vestjylland, langt fra hovedopholdslinien og ikke har været i kontakt med gletscherisen under Weichselistiden.

Kornkurverne for de to restprodukter fra Tjæreborg er vist i figur 41 sammen med en prøve af mellemkornet sand fra grusgraven.



Figur 41. Sigtekurver for tre prøver fra Tjæreborg i Vestjylland. Tjæreborg 1 og tjæreborg 2 er restprodukter fra produktionen, tjæreborg 149.2 er mellemkornet sand.

Det er ved hjælp af regneark muligt at blande forskellige råstofprøver, og derved simulere kornkurven for et givet blandingsforhold mellem prøverne. Ved en sådan øvelse kan man ramme den ønskede kornkurve for teglværksler.

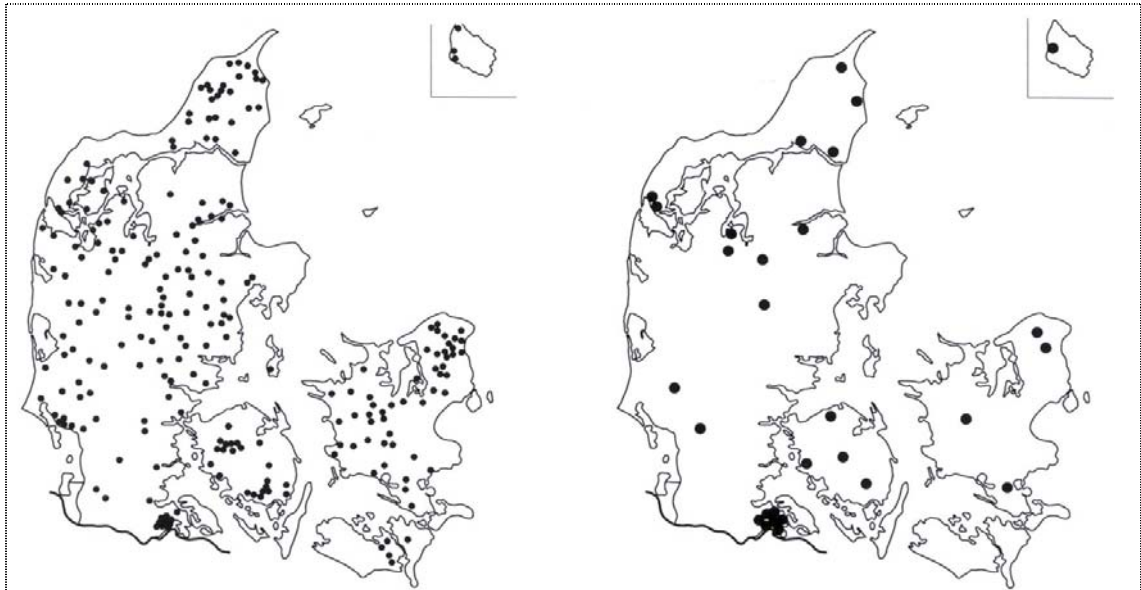
I forbindelse med arbejderne af Holmboe og Knudsen (2000a,b) blev det påvist, at man kan simulere en blanding af de kortlagte smeltevandsforekomster i Ribe Amt, med godt 50% spildprodukter fra sand- og grusproduktionen ved Tjæreborg og få kornkurver som dem, der anvendes ved produktionen idag. Det blev endvidere vist, at man ved simulering kan rette kornkurven op, så den er mindre bimodal.

En umiddelbar hindring ved anvendelse af slam fra Tjæreborg er dets høje vandindhold, og slammet må derfor afvandes før det kan finde anvendelse som magringsmiddel.

Slam fra Tjæreborg anvendes ikke idag og kan muligvis udnyttes i samarbejde med grusgraven, for hvem det idag udgør et problem. Økonomien i dette er dog ikke undersøgt og kunne være et projekt at gå videre med, eventuelt i samarbejde med Skov- og Naturstyrelsen og Miljøstyrelsen.

Markedsforhold

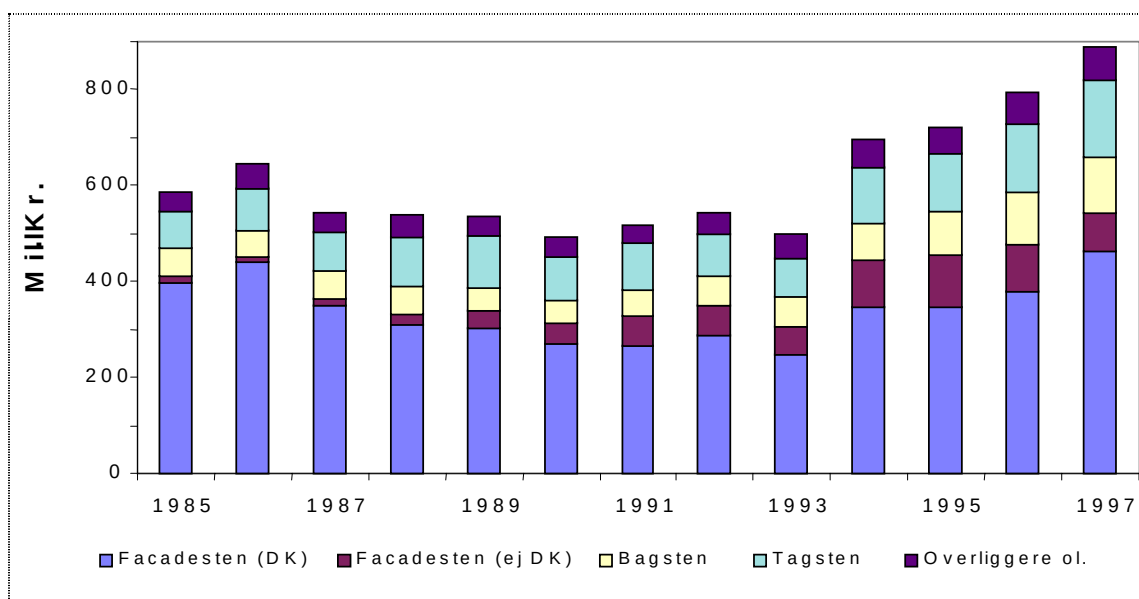
Der er gennem de seneste ca. 35 år sket en gennemgribende strukturrationalisering i teglværksbranchen, således at antallet af værker er faldet fra over 200 først i 60'erne til under 30 i slutningen af 90'erne (figur 42). Dette er koblet med en koncentration af ejerskabet i endnu færre selskaber samt udenlandske opkøb af danske teglværker. De danske teglprodukter bliver markedsført af en række organisationer hvoraf Randers Tegl og De forenede Teglværker (fortrinsvis Egersund) er de mest fremtrædende.



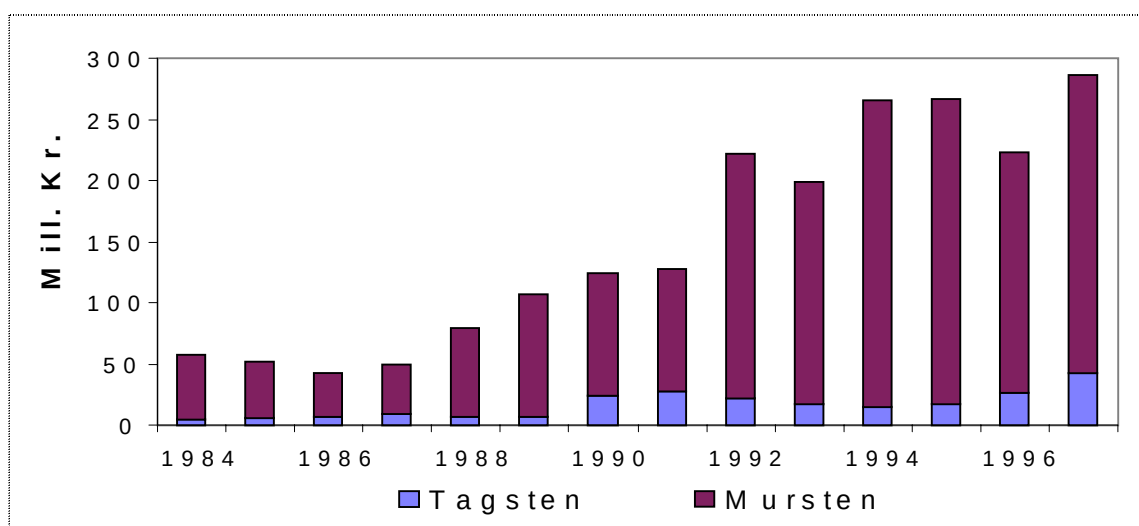
Figur 42. Fordelingen af teglværker i henholdsvis 1956 og 1997. Antallet af teglværker idag er yderligere reduceret i forhold til 1997.

Afsætningen af tegl i perioden 1986 til 1996 er vist i figur 43. Der var en stærk afsætning under højkonjunktoren i midten af 80'erne på det danske marked.

Efterfølgende skete der en økonomisk afmatning i Danmark med et markant fald i boligbyggeriet til følge. Boligbyggeriet nåede et minimum i 1993, det laveste niveau i 70 år, med en meget lav afsætning af mursten på det danske marked til følge. At der kunne holdes et nogenlunde konstant volumen i omsætningen skyldes, at der blev vundet markedsandele specielt på det tyske marked på baggrund af stærkt stigende byggeaktivitet efter "murens fald".



Figur 43. Værdien af den danske teglproduktion fordelt på produkter. Kilde: Danmarks Statistik.



Figur 44. Den danske tegleksport. Kilde: Danmarks Statistik.

Som det fremgår af tabel 14, er Tyskland langt det største eksportmarked, og det ses af figur 44, at det er lykkedes at holde markedsandelen også efter de første økonomiske bølger har lagt sig efter murens fald.

Specielt et teglværk har specialiseret sig i at levere klinker primært til eksport til Tyskland, og kan overholde kravet om en vandoptagelse på ca. 7% (DIN 105). De almindelige danske mursten har typisk en vandoptagelse på ca. 10% og 14%, henholdsvis rødbrændte og gulbrændte sten, hvilket er højere end for de fleste tyske sten. En højere vandoptagelse betyder, at væden i mørtlen trækkes hurtigere ud, hvilket giver en hurtigere afbinding – noget der kan udgøre et problem, hvor der anvendes mørtel med højt cementindhold. En for hurtig afbinding kan give murværket en ringere styrke. Der spores derfor interesse i branchen for at finde frem til råmateriale, der kan brændes hårdere og dermed give en sten med lavere porøsitet og vandoptagelse.

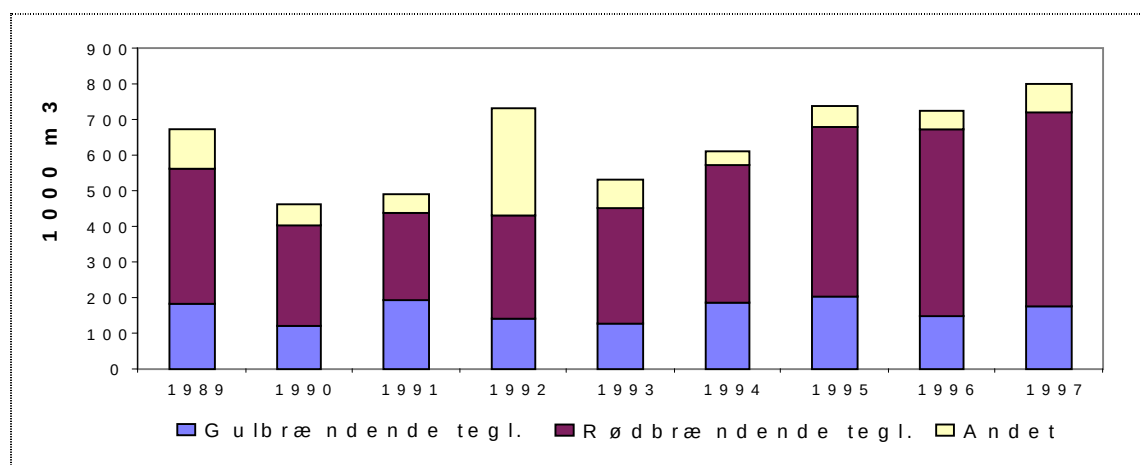
	Mursten (mio. kr.)	Tagsten (mio. kr.)
Tyskland	215	31
Sverige	21	2
Norge	2	8
Øvrige	7	1

Tabel 14. Den danske tegleksport i 1997.

Herudover har en række teglværker givet udtryk for interesse for at lokalisere ler, der kan brændes til klinker. Der er i dag en import af tysk såkaldt "skifferler", der anvendes til dette formål.

Markedet for sten med en lavere porøsitet vurderes at være ringe i Danmark, da der her er tradition blandt murere for, at stenene skal optage væden i mørtlen hurtigt, hvilket giver en hurtig arbejdsgang.

Generelt kan det siges, at langt de fleste teglværker i Danmark producerer tæt på den maksimale kapacitet, og at nogle teglværker planlægger at opføre yderligere kapacitet.



Figur 45. Indvindingen af ler fordelt på anvendelser. Kilde: Danmarks Statistik.

Det ses på figur 45, at der bruges langt mest rødbrændende ler, samt at forbruget heraf er vokset i forbindelse af den øgede teglproduktion i 90'erne.

Referenceliste

- Andersen, S.** 1989: Rød- og gulbrændende ler. I noget om ler, Skov- og Naturstyrelsen, Miljøministeriet, pp. 3-14.
- Bacher, V., Ernstsens V., Jeppesen, K. G., Kristiansen, H. og Madsen, P.** 1986: Flyveaske i tegl. Råstofkontorets genbrugsserie nr. 4, Miljøministeriet. 106 pp.
- Ballantyne, C. K. and Harris, C.** 1994: The Periglaciation of Great Britain, pp. 165-173.
- Benn, D. I. and Evans, J. A. D.** 1998: Glaciers and Glaciation, Arnold, pp. 125-128.
- Boulton, G. S.** 1978: Boulder shapes and grain-size distribution of debris as indicators of transport path through a glacier and till genesis. *Sedimentology* 25, pp. 773-799.
- Dinesen, B.** 1975: Geochemical properties of the marine Younger Miocene at Gram, SW Jutland. DGU Årbog. 1975, pp. 5-29.
- Ditlefsen, C.** 1988: Kortlægning af ler til teglproduktion. Råstofkontorets kortlægningsserie nr. 6. Miljøministeriet. 101 pp.
- Ditlefsen, C.** 2000: Lerkortlægning. Kortlægning af ler i området mellem Bolderslev og Hjortkær. Sønderjyllands Amt. Dansk Geofysik.
- Ernstsens, V.** 1998: Clay minerals of clayey subsoils of Weichselian Age in the Zealand-Fünen area, Denmark. *Bull. Geol. Soc. Denmark*. 45, pp. 39-51.
- Ernstsens, V., Jeppesen, K. G. og Kristiansen, H.** 1990: Flyveaske i tegl. Supplerende undersøgelser. Råstofkontorets genbrugsserie nr. 5. Miljøministeriet. 69 pp.
- Falk, C.** 1980: Tegl 10. Kalk- og Teglinformation, Danmarks Teknologiske Institut, Århus. 24 pp.
- Falk, C. og Krejbjerg, J.** 1991: Teglfremstilling. Kalk og Teglværkslaboratoriet, Kalk- og Teglinformation, Tegl 1. 25 pp.
- Fobian, A.** 1966: Studie über Parabraunerden in Dänemark. *Pedologie*. 16, pp. 183-198.
- Friis, H.** 1994: Lithostratigraphy and sediment petrography of the Oligocene sediments from the Harre borehole, Denmark. *Aarhus Geoscience*, Vol. 1, pp. 35 - 43.
- Graff-Petersen, P.** 1961: Lermineralogien i de limnisk-jura-sedimenter på Bornholm. Doktordisputats. 149 pp.

Gravesen, P. 1996: Bornholm, Geologisk Set. Ed S. Andersen. Miljø- og Energiministeriet, Skov- og Naturstyrelsen. 208 pp.

Gry, H. 1977: Hasle Klinkers Lergrav og Rabekke Værket. Geologi på Bornholm. Varv ekskursionsfører. Nr. 1. pp. 69 - 72.

He, C. In press: Mineral transformations during firing of clay structure products. With extended summarisation in danish by Micheelsen, H. Skov og Naturstyrelsen. 81 pp.

Hegel, P. 1992: Materialefordelingen i en isstrøm, belyst ved studier af den norske moræne i Danmark og Vestsåne. Dansk geol. Foren. Årsskr. 1990-91, pp. 1-12.

Heilmann-Clausen, C. 1995: Palæogene aflejringer over Danske kalken. Danmarks geologi fra Kridt til i dag. Pp. 69 - 114, Aarhus Universitet.

Hermansen, B. og Jakobsen, P. R. 2000: Danmarks digitale jordartskort 1:25.000, GEUS rapport, 2000/81.

Hermansen, B., Pedersen, S.A.S. og Bjerregaard, C. 1999: Digitalt kort over Danmarks jordarter 1:200.000, GEUS rapport, 1999/47.

Holmboe, T. og Knudsen, C. 2000a: Efterforskning af teglværksler til Villemoes Teglværk, Ribe Amt. GEUS rapport 2000/97.

Holmboe, T. og Knudsen, C. 2000b: Efterforskning af teglværksler til Sønderkov Teglværk, Ribe Amt. GEUS rapport 2000/98.

Houmark-Nielsen, M. og Sjørring, S. 1991: Om istiden i Danmark. Geologisk Centralinstitut, Københavns Universitet, pp. 1-45.

Jensen, E. 1978: The typical danish brick – A phase analytical study By X-rays. Kgl. Vet.- og Landbohøjskole, Danmark. Årsskr. 1978, pp. 53 - 63.

Jensen, J. B. 1984: Sen-elster smeltevandsler - en mulig ledehorisont i det vestligt Jylland. Dansk geol. Foren. Årsskr. 1989, pp. 21 - 35.

Jensen, L. N. og Michelsen, O. 1992:: Tertiær hævnning og erosion i Skagerrak, Nordjylland og Kattegat. Dansk geol. Foren. Årsskr. 1990-1991, pp. 159-168.

Jørgensen, E. L. 1989: En råstofgeologisk undersøgelse af lerforekomster i Viborg Amt. 45 pp. Viborg Amtskommune.

Klein, C. and Hurlbut, JR., 1993: Manual of mineralogy, 21st. edition. John Wiley & Sons, Inc, pp. 527.

Knudsen, C. 1998a: Heavy mineral exploration in Miocene sediments, Jylland. GEUS rapport 1998/45.

Knudsen, C. 1998b: Undersøgelse af teglværksler på udvalgte lokaliteter i Ribe Amt. Faktuel Rapport. GEUS 1998/119.

Konnerup Madsen, J., 1989: Teglbrænding: En kontaktmetamorf proces. Kvalitet-serien nr. 4 "Noget om ler". Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen. pp. 15 - 55.

Madsen, P. 1989: Undersøgelse af råmaterialer til fremstilling af teglprodukter. Kvalitet-serien nr. 4 "Noget om ler". Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen. pp. 75 - 88.

Manning, D. A. C. 1995: Introduction to industrial minerals. Chapman & Hall 296 pp.

Mikkelsen, J. 1989: Dansk Bentonit. Skov- og Naturstyrelsen, Kvalitetsserien no. 5. Miljøministeriet. 170 pp.

Murværkscentret. 1993: Tør og våd blegejord i tegl. Murværkscentret, Rapp. No. 252-2-6138.

Murværkscentret. 1999: Renere teknologi i Tegl- og Mørtelbranchen. Forslag til handlingsplaner. Alternative materialer.

Møbjerg, J.P. 1975: Mineralogical composition of a danish soil developed on young morainic material. Kgl. Vet.- og Landbohøjsk. Årsskr. 1975. Pp. 91-110.

Pedersen, A. D. 1992: Bentonitprojekt Lolland. Fase 3: Supplerende feltundersøgelser samt analyser og vurderinger af leret ved Rødbyhavn. Miljøkontoret, Storstrøms Amt.

Rasmussen, E.S. og Larsen, O.H. 1989: Mineralogi og geokemi af det Øvre Miocæne Gram ler. DGU, Serie D. Nr. 7.81 pp.

Schachtschabel, P. Blume, H.-P., Brümmer, G., Hartge, K.-H. und Schwertmann, U. 1989: Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart.

Sivertsen, J. 1997: Fra ler til klinker - et eksempel fra Bagå Lergrav, Bornholm. Geologisk Nyt 2/97. Pp. 3-5.

Sønderjyllands Amt. 1998: Råstokortlægning. Rødbændende lerforekomster. Teknisk Forvaltning. 33 pp.

Tank, R. W. 1963: Clay mineralogy of some Lower Tertiary (Paleogene) sediments from Denmark. DGU., IV Række, Bind 4, no. 9.

Tucker, M. E. 1991: Sedimentary Petrology, 2. udg. Blackwell Science Ltd.

Bilagsfortegnelse

- 1 Kort over lertyper med kvartær oprindelse i Danmark, målestok 1:500.000.
- 2 Resultater af tegltekniske analyser, rapport fra Teknologisk Institut, Murværk.
- 3 Resultater af kemiske analyser, rapport fra Activation Laboratories, Ltd.
- 4 Resultater af lermineralogiske analyser, røntgendiffraktogrammer.
- 5 Resultater af sigte- og sedigrafanalyser for de 6 udvalgte lertyper.
- 6 Kemisk analyse af flyveaske. Data fra Danaske I/S.

Bilag 1

Kort over lertyper med kvartær oprindelse i Danmark.

Lertyper i Danmark

Skala: 1 : 1.500.000

0 25 50 75 Km

Legende 1:25.000

FL - Postglaciale ferskvandsler

HL - Postglaciale saltvandsler

TL - Senglaciale ferskvandsler

YL - Senglaciale saltvandsler

ZL - Issøer

DL - Smeltevandsler

ML - Moræner

KML - Kalkmoræner

IL - Interglaciale ferskvandsler

QL - Saltvandsler

Legende 1:200.000

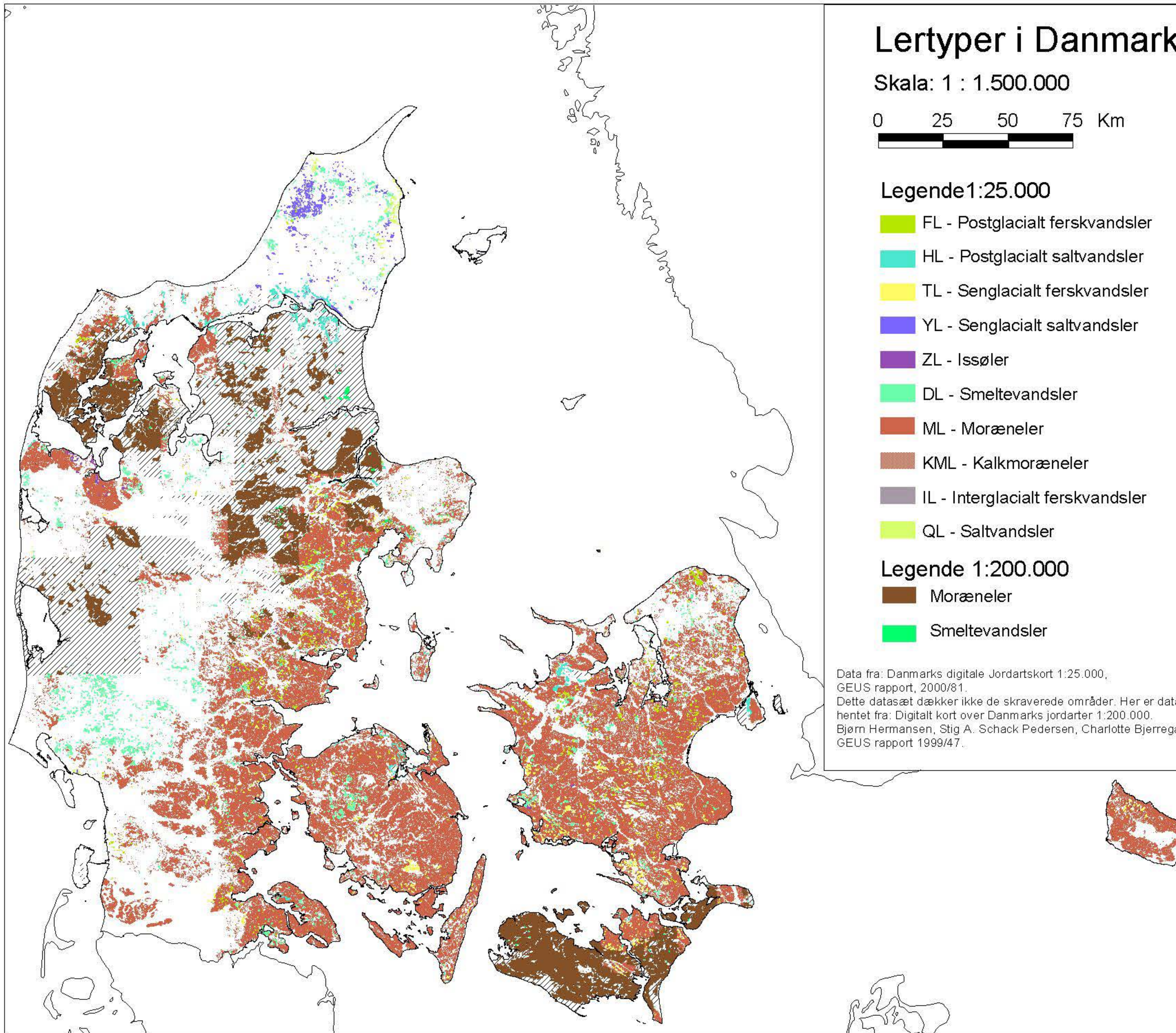
Moræner

Smeltevandsler

Data fra: Danmarks digitale Jordartskort 1:25.000,
GEUS rapport, 2000/81.

Dette datasæt dækker ikke de skraverede områder. Her er data
hentet fra: Digitalt kort over Danmarks jordarter 1:200.000.

Bjørn Hermansen, Stig A. Schack Pedersen, Charlotte Bjerregaard,
GEUS rapport 1999/47.



Bilag 2

Tegltekniske analyser af 6 udvalgte lertyper. Rapport fra Teknologisk Institut, Murværk.



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Undersøgelse

af dansk rødder til teglfremstilling

Udført for GEUS
Thoravej 8
2400 København NV

Udført af geolog Lene Vissing

Hasselager, den 19. september 2000

Sag nr.: 240-0-1268

Murværk
Teglbackvej 20
8361 Hasselager

Telefon 7220 3800
Telefax 7220 3801

UNDERSØGELSE AF DANSK RØDLER TIL TEGLFREMSTILLING

1. Indledning

På foranledning af **GEUS**, København, har Teknologisk Institut, Murværk undersøgt 6 forskellige typer af dansk rødder.

Formålet var at karakterisere danske lertyper, som anvendes til teglfremstilling. Karakteriseringen omfatter

- Tørringssvind og reabsorption som funktion af lertype.
- Brændingssvind, minutsugning, vandoptagelse, nettodensitet, bøjningstrækstyrke og trykstyrke som funktion af lertype og brændingsgrad.

2. Prøvemateriale

Teknologisk Institut, Murværk modtog råer fra 6 teglværker. I tabel 1 er angivet fra hvilke egne lertyperne kommer fra.

Tabel 1. Prøvemateriale.

Prøve nr.	Egn
1	Sønderjylland
3	Vestjylland
4	Nordsjælland
5	Syd for Limfjorden
6	Thy
7	Fyn

3. Fremstilling af prøvestænger

Modtagne lerprøver blev tørret ved 105°C, hvorefter lerprøverne blev homogeniseret og valset på laboratorievalseværk. Under homogenisering og valsning tilsættes den mængde vand der er nødvendig for at få en god strygekonsistens og lerblandingen fortsat er formstabil. Lerblandingernes vandindhold blev bestemt. I tabel 2 er angivet ved hvilket vandindhold lerprøverne er formgivet ved.

Metodebeskrivelsen er vedlagt i bilag 1

Af hver lerblanding blev der fremstillet 24 stænger med dimensionerne 2×2×12 cm. Stængerne er formgivet i ståforme. De fremstillede prøvestænger blev placeret påtrådnnet og tørret under papkasser i et konditioneringsrum ved 20°C og 65% RH. Længdesvind og vægttab blev registreret. På grundlag af disse registreringer er der optegnet Bigot-kurver.

Tabel 2. Vandindhold, vægt%.

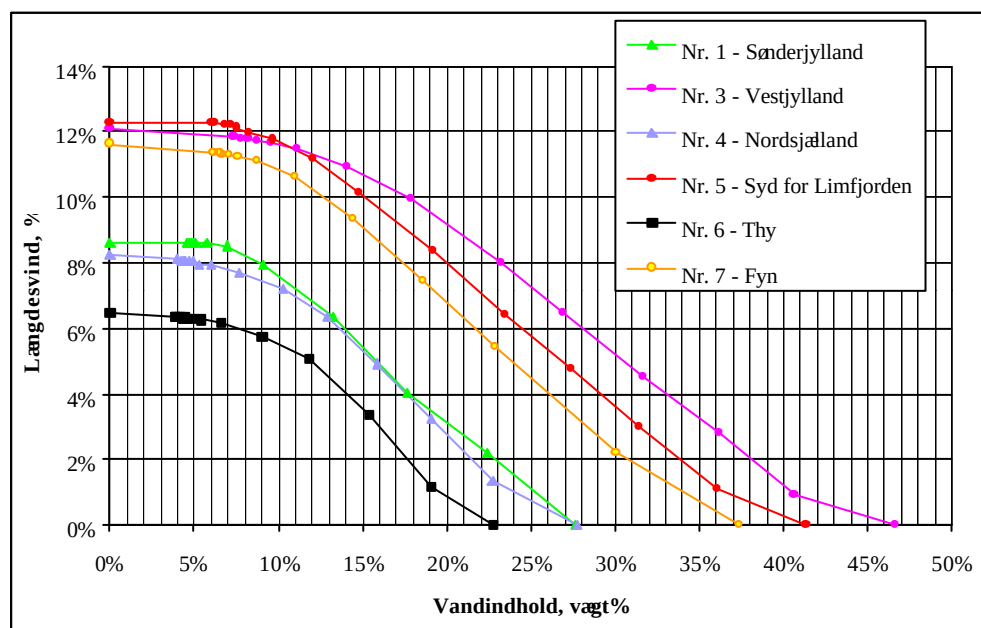
Prøve nr.	Vandindhold vægt%
1	28,2
3	46,7
4	27,6
5	44,5
6	22,2
7	37,7

4. Tørringssvind

Under tørringsforløbet blev længdesvind og vægttab registreret, indtil længdesvindet ophørte. Herefter blev prøvestængerne færdigtørret ved 105°C. Registreringen blev foretaget på 6 stænger af hver lerblanding.

Til optegning af Bigot-kurver er længdesvindet beregnet som procent af stængernes længde ved strygning. Vægttabet er beregnet som procent af prøvestængernes vægt ved 105°C. Bigot-kurverne for de forskellige lertyper er vist i figur 1.

Figur 1. Bigot-kurver for lertyperne.



En lerblandings Bigot-kurve beskriver sammenhængen mellem længdesvind og restvandindhold. Først når længdesvindet er stoppet er det muligt at forcere tøringsforløbet og fjerne den resterende del af vandet.

På grund af lertypernes forskellige vandbehov ved strygningen er der sket en gruppering af lertyperne. Lertyperne fra Vestjylland, Fyn og syd for Limfjorden har et totalt tøringsvind på ca. 12 vægt%. De øvrige lertyper (nr. 1, 4 og 6) har et væsentligt lavere totalt tøringsvind – omkring 7-8 vægt%. De 3 førstnævnte (nr. 3, 5 og 7) har et restfugtindhold på omkring 7 vægt%, når de ophører med at svinde. De 3 sidstnævnte (nr. 1, 4 og 6) har et restfugtindhold omkring 5 vægt%.

Disse forskelle er sandsynligvis betinget af forskelle i lermineralogien.

5. Reabsorption

Reabsorption er bestemt ved registrering af vægtstigning og længdeøgning på prøvestænger, som var færdigtørret ved 105°C. Registreringen blev foretaget på 3 prøvestænger af hver lerblanding.

De færdigtørrede stænger blev placeret på trådnæt i et konditioneringsrum ved 20°C og 65% RH. Længdesvind og vægttab blev registreret en gang i døgnet indtil konstant vægt.

Tabel 3. Reabsorption, vægtstigning og længdeøgning (efter konstant vægt).

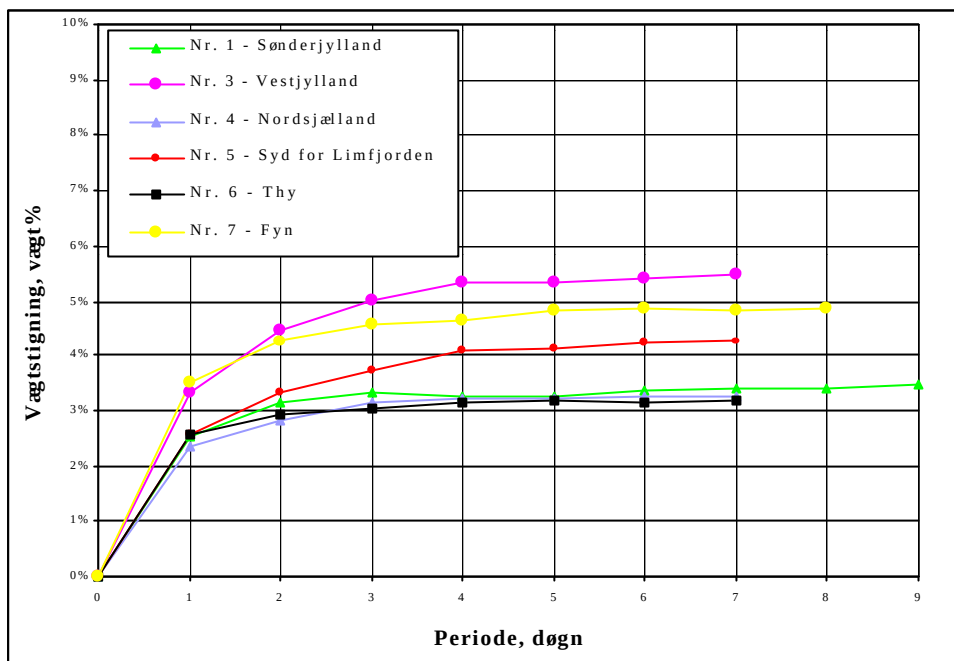
Prøve mærke nr.	Vægtstigning vægt%	Længdeøgning %
1 – Sønderjylland	3,5	0,1
3 – Vestjylland	5,5	0,5
4 – Nordsjælland	3,2	0,2
5 – Syd for Limfjorden	4,2	0,1
6 – Thy	3,2	0,2
7 – Fyn	4,9	0,4

Når en færdigtørret ler reabsorberer dannes der meget fine revner i stenens overflade, og den er derfor kassabel. Det er derfor af væsentlig betydning, at en lertype har så svag en reabsorptionsevne som mulig.

Resultaterne af reabsorptionstesten viser, at det primært er efter det første døgn lerblandingerne reabsorberer.

Lerblandingerne nr. 1, 4, 5 og 6 er mindst følsomme overfor reabsorption, hvorimod lerblandingerne nr. 3 og 7 er mest følsomme.

Figur 2. Reabsorption efter færdigtørring ved 105°C.



6. Brændingssvind

De færdigtørrede prøvestænger er brændt i en elektrisk kammerovn ved følgende toptemperaturer:

- 1000°C
- 1040°C
- 1060°C
- 1080°C
- 1120°C

Toptemperaturen er fastholdt i 3 timer. Ved hver temperatur er der brændt 3 stænger af de 6 forskellige lerblandinger. Efter brænding er vægttab og længdesvind registreret. Vægttab og længdesvind er beregnet i procent af prøvestænger færdigtørret ved 105°C.

Tabel 4. Vægttab ved brænding, vægt%

Toptemperatur °C	Prøvens mærke, nr.					
	1	3	4	5	6	7
1000	4,1	6,2	4,9	6,3	3,0	7,1
1040	4,1	6,3	4,8	6,2	2,8	7,0
1060	4,1	6,0	5,0	6,3	3,0	7,2
1080	4,2	6,1	4,9	6,4	2,9	7,1
1120	4,1	6,2	5,0	6,4	2,9	7,1

Tabel 5. Længdesvind ved brænding, %.

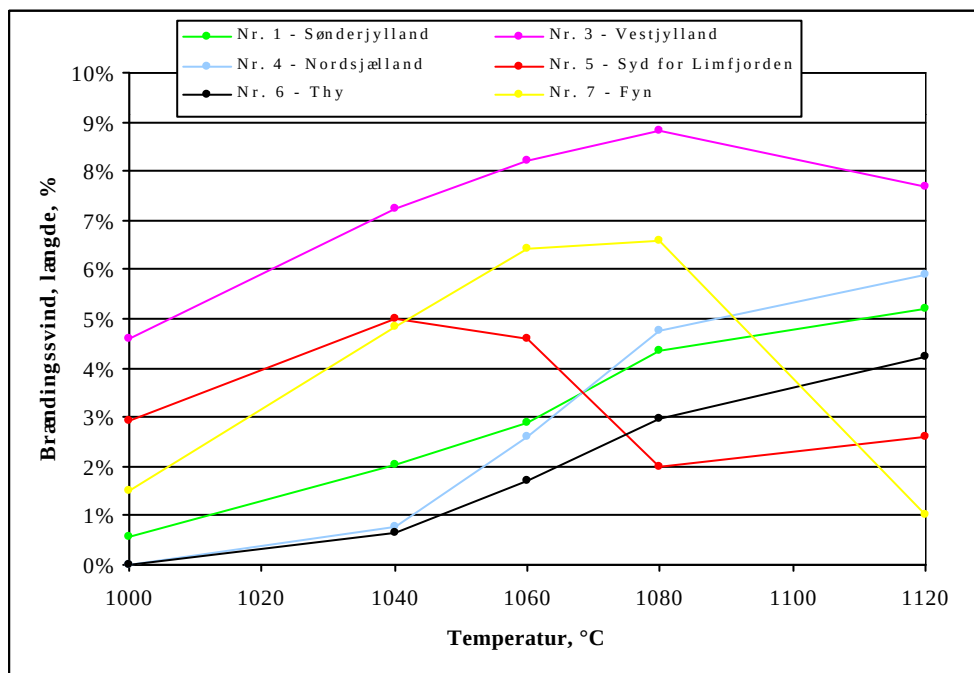
Toptemperatur °C	Prøvens mærke, nr.					
	1	2	3	4	5	6
1000°C	0,6	4,6	0,0	2,9	0,0	1,5
1040°C	2,0	7,2	0,8	5,0	0,7	4,8
1060°C	2,9	8,2	2,6	4,6	1,7	6,4
1080°C	4,3	8,8	4,8	2,0	3,0	6,6
1120°C	5,2	7,7	5,9	2,6	4,2	1,0

Vægttabet ved brænding varierer fra 3-7 vægt% (se tabel 4). Uafhængig af lerblandinger viser brændingsforsøgene, at vægttabet ved brænding er tilendebragt ved temperaturer lavere end 1000°C.

Det maksimale længdesvind ved brænding ved valgte temperaturer varierer fra 4% til 9% afhængig af lertype (se tabel 5 samt figur 3). Lertyperne nr. 3 og 7 har betydelige brændingssvind i det typiske teglbrændingsinterval 1000°-1060°C. De øvrige lertyper har mere moderate brændingssvind i pågældende interval.

Tre lertyper (nr. 1, 4 og 6) har ikke eller stort set ikke haft et svind ved opvarmning til 1000°C. Lertype nr. 5 har et maximalt svind på 5% ved omkring 1040°C, hvorefter der er begyndende opblæring. Lertyperne nr. 3 og 7 begynder også at blære op, dog først omkring 1080°C.

Figur 3. Længdesvind ved brænding (%) som funktion af brændingstemperatur.

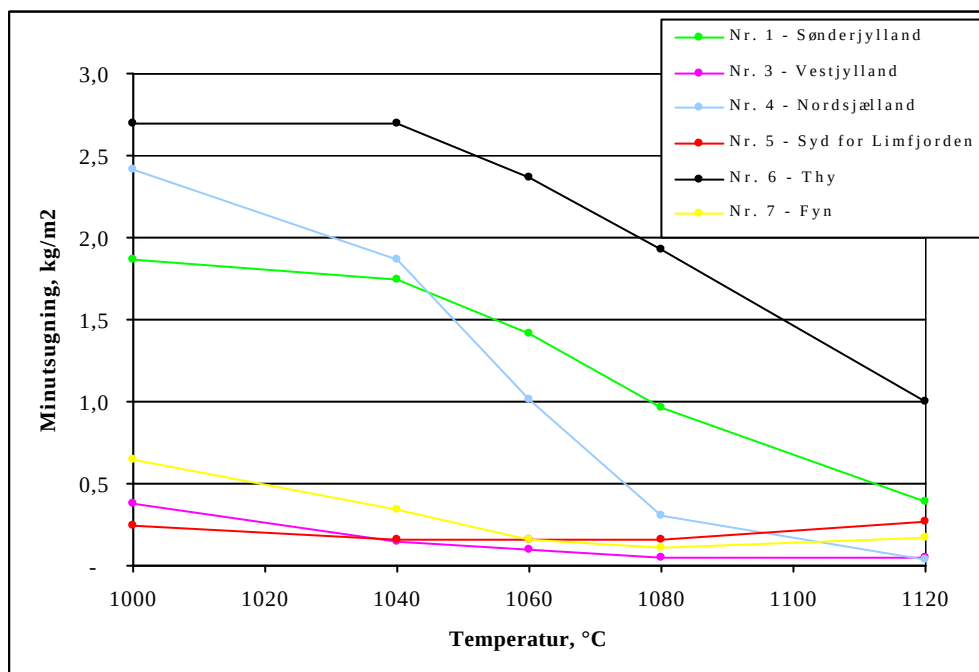


7. Minutsugning

Minutsugning er bestemt på 3 brændte prøvestænger af hver lerblanding. Efter vejning af den brændte prøvestang anbringes denne i vandbad, således at den ene liggeflade er 0,5 cm under vandspejlet, hvis niveau holdes konstant under prøvningen. Et minut efter, at liggefladen er kommet i kontakt med vandet, tages prøvestangen op og aftrykkes med en opvredet klud, hvorefter den vejes. Af vejeresultater og liggefladens areal udregnes minutsugningen i kg/m^2 .

Resultaterne fremgår af figur 4.

Figur 4. Minutsugning som funktion af brændingstemperatur.



Prøvningsresultaterne viser, at minutsugningen afhænger af lertype og tildels af brændingstemperatur (se figur 4). Lertyperne nr. 1, 4 og 6 har en moderat høj minutsugning ved lav toptemperatur faldende til lav minutsugning ved høj toptemperatur. De resterende lertyper (nr. 3, 5 og 7) har en lav minutsugning, som stort set er uafhængig af toptemperatur.

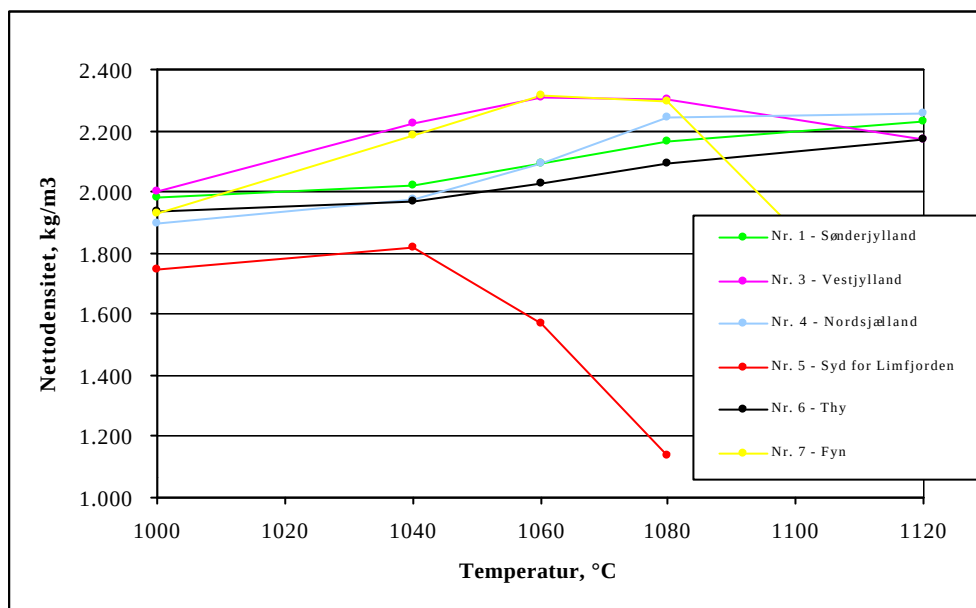
8. Nettodensitet og vandoptagelse

Nettodensitet og vandoptagelse er bestemt på 3 brændte prøvestænger af hver lerblanding. Prøvestængerne vandlagres stående på den ene kopende i 2 døgn, det første døgn halvt, det andet døgn helt nedsænket i vand og vejes da såvel i vand som i luft; det sidste efter at overfladen er aftrykket med en opvredet klud. Af vejeresultaterne udregnes nettodensiteten i tør tilstand i kg/m^3 .

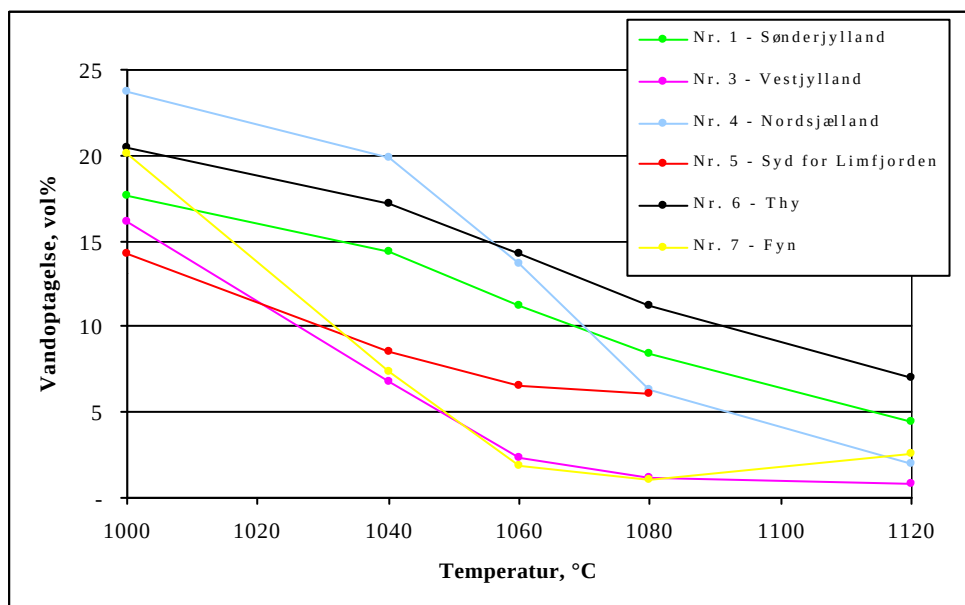
Endvidere udregnes prøvestangens vandoptagelse i rumprocent ved de 2 døgns vandlagring.

Resultaterne fremgår af henholdsvis figur 5 og figur 6.

Figur 5. Nettodensitet af brændte prøvestænger som funktion af toptemperatur.



Figur 6. Vandoptagelse af brændte prøvestænger som funktion af toptemperatur.



Generelt er nettodensiteten omkring 1.900-2.000 kg/m³ ved 1000°C og stiger til ca. 2.100 kg/m³ ved max. Dog afviger lertype nr. 5 ved at have en relativ lav nettodensitet ved 1000°C og derefter faldende ved stigende toptemperatur. Ved 1080°C sker der ligeledes et fald i nettodensiteten for lertype nr. 7. Faldet i nettodensiteten skyldes for begge lertyper opblæsning.

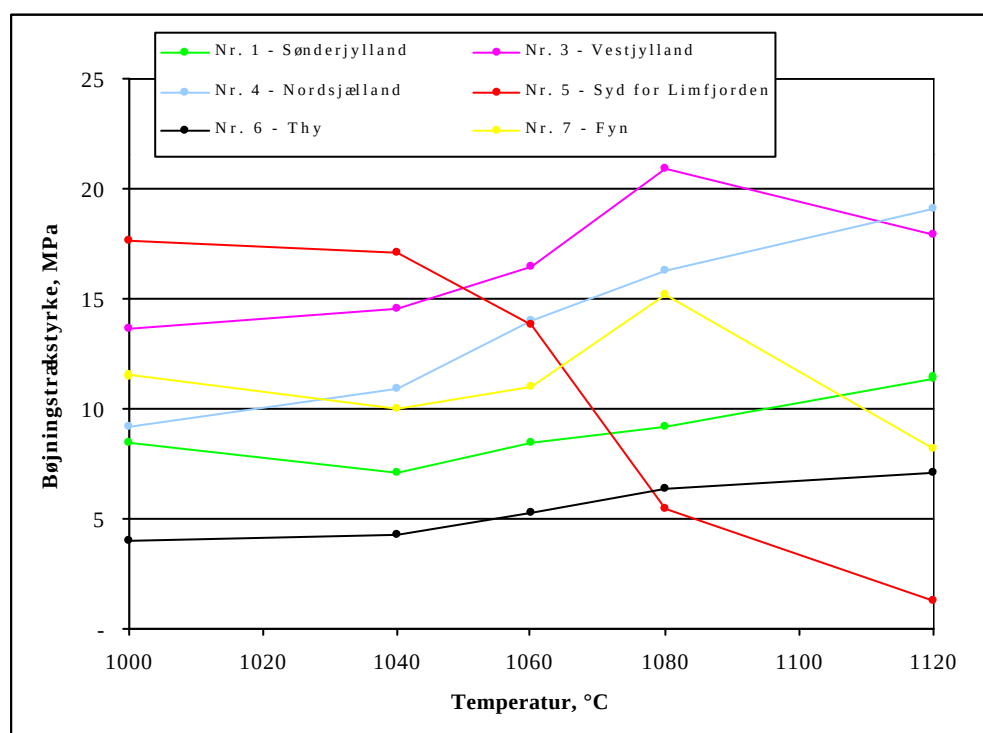
Vandoptagelsen er faldende fra omkring 15-20 vol% ved 1000°C til omkring 5 vol% ved 1120°C. Især for lertyperne nr. 3 og 7 ses et markant fald i vandoptagelse indenfor det typiske teglbrændingsinterval.

9. Bøjningstrækstyrke

Bøjningstrækstyrken er bestemt på 3 brændte prøvestænger af hver lerblanding. Prøvestængerne anbringes simpelt understøttet med 80 mm spændvidde og belastet herefter midt mellem understøtningerne med en lodret viklet linie elast, der øges jævnt, indtil brud indtræffer. Prøvningerne er udført med en belastningshastighed på ca. 0,22 MPa/s.

Resultaterne af prøvningerne fremgår af figur 7.

Figur 7. Bøjningstrækstyrke af brændte prøvestænger som funktion af toptemperatur.



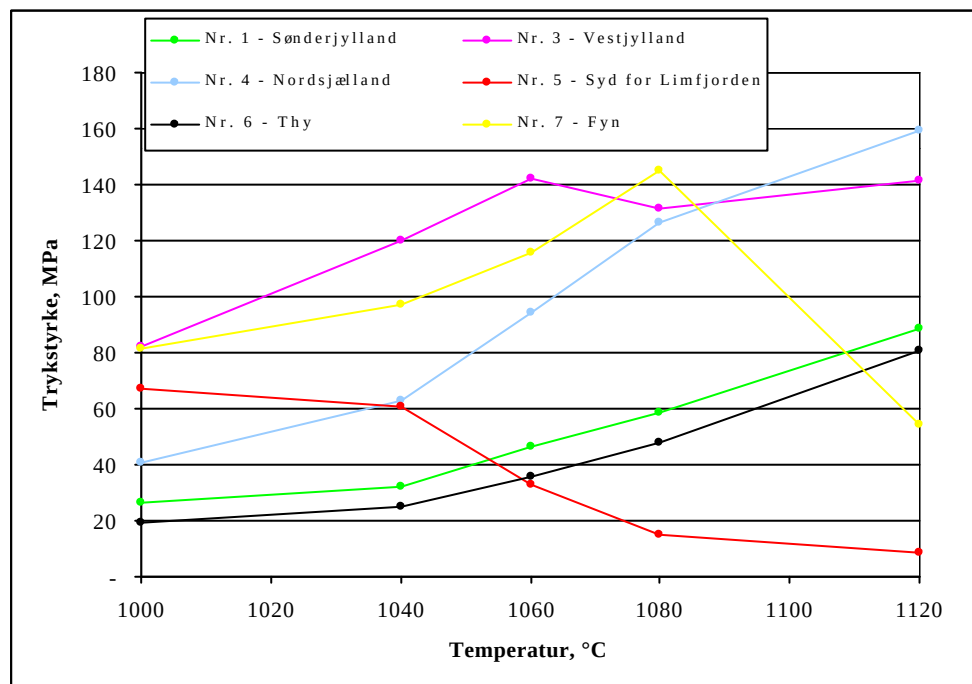
Der kan konstateres en betydelig spredning på prøvningsresultaterne som funktion af lertype. Variationen i prøvningsresultaterne som funktion af toptemperatur er mindre betydende.

10. Trykstyrke

Trykstyrken er bestemt på 6 halve brændte prøvestænger af hver lerblanding. En halv prøvestang afrettet med en sandcementblanding (1:1) er monteret i en trykpresse og herefter belastet med ca. 0,14 MPa/s indtil brud.

Resultaterne fremgår af figur 8.

Figur 8. Trykstyrke af brændte prøvestænger som funktion af toptemperatur.



Ved en toptemperatur på 1000°C varierer trykstyrken fra 20 til 80 MPa afhængig af lertype. Ved stigende toptemperatur øges trykstyrken generelt (dog ikke for lertype nr. 5) og samtidig bibeholdes spredningen i trykstyrken.

Hasselager, den 30. november 2001
Teknologisk Institut, Murværk

Lene Vissing

/

Helge Hansen

Bilag 3

Kemiske analyser af 6 udvalgte lertyper. Rapport fra Activation Laboratories Ltd.

Quality Analysis...



Innovative Technologies

Invoice No.: 21398
Work Order: 21659
Invoice Date: 28-MAR-01
Date Submitted: 06-FEB-01
Your Reference: LETTER
Account Number: 3004

GEUS - GEOLOGICAL SURVEY OF DENMARK & GREENLAND
THORAVEJ 8
DK-2400 COPENHAGEN NV
DENMARK

ATTN: TORSTEN HOLMBOE

CERTIFICATE OF ANALYSIS

6 CLAY SAMPLES (PREP.REV3) were submitted for analysis.

The following analytical packages were requested. Please see our current fee schedule for elements and detection limits.

REPORT 21398 CODE 4E-EXPL. INAA (INAAGEO.REV1)
REPORT 21398 B MAJ ELEM FUS ICP (WRA.REV2)
REPORT 21398 C TOTAL DIGESTION ICP (TOTAL.REV2)
REPORT 21398 D CODE 5D-F FUS SPEC ION ELECTRODE
REPORT 21398 E CODE 5G-C & S METALLURGICAL BAL PKG.

REPORT 21398 RPT.XLS ULTRATRACE1 - ICP/MS

This report may be reproduced without our consent. If only selected portions of the report are reproduced, permission must be obtained. If no instructions were given at time of sample submittal regarding excess material, it will be discarded within 90 days of this report. Our liability is limited solely to the analytical cost of these analyses. Test results are representative only of material submitted for analysis.

CERTIFIED BY :

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "E. Hoffman".

DR E. HOFFMAN/GENERAL MANAGER

ACTIVATION LABORATORIES LTD.

1336 Sandhill Drive, Ancaster, Ontario Canada L9G 4V5 TELEPHONE +1.905.648.9611 or +1.888.228.5227 FAX +1.905.648.9613

E-MAIL ancaster@actlabs.com ACTLABS GROUP WEBSITE <http://www.actlabs.com>

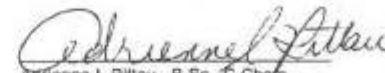
Activation Laboratories Ltd. Work Order: 21659 Report: 21398

Sample ID	Au ppb	As ppm	Br ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Hf ppm	Ir ppb	Mo ppm	Rb ppm	Sb ppm	Sc ppm	Se ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm	W ppm	La ppm	Ce ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Tb ppm	Yb ppm	Lu ppm	Mass g
1	7	9	4	21	63	4.9	7	-5	-5	104	0.6	11.2	-3	-1	10.2	1.4	-3	34.7	86	26	5.8	1.2	0.6	2.7	0.41	1.141
3	-5	19	3	24	107	5.9	8.1	-5	-5	110	0.8	16.8	-3	1	10.8	2.6	-3	44.1	88	34	7.3	1.8	1	3.7	0.56	1.097
4	-5	9	8	13	62	4.2	8.4	-5	-5	83	0.6	11.2	-3	-1	11.3	2.8	-3	44.7	81	34	6.9	1.5	1	3.6	0.55	1.153
5	-5	9	6	15	134	9.6	7	-5	-5	118	0.8	14.7	-3	1	10.9	3.5	-3	34.3	80	25	5.1	1.2	-0.5	2.6	0.39	1.083
6	-5	8	3	13	60	3.7	7.4	-5	-5	75	0.4	9.3	-3	-1	8.3	2.2	-3	32.7	71	27	5.3	1.3	0.8	3.1	0.45	1.146
7	6	10	6	16	82	6.8	6	-5	-5	104	0.7	13.6	-3	-1	12.1	2.7	-3	42.9	86	32	6.3	1.4	-0.5	3	0.45	1.094
DMMAS-14-568	531	2390	3	66	139	1.9	1.5	-5	-5	51	12.3	19.1	-3	-1	1.6	1.5	16	12.7	23	14	3.9	1.2	-0.5	3.6	0.54	1.42
Accepted Value-DMMAS-14	590±60	2450±70	2.8±1.0	70.7±10	141±16		2.5±1			45±10	11.7±1.1	20.5±2.1			1.4±1.0		18±4	13.4±1	24±2	12±2	4.0±0.4	1.3±0.2	1.0±0.4	3.6±0.2	0.54±0.03	

Activation Laboratories Ltd. Work Order No. 21659 Report No. 21398B

SAMPLE	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	LOI	TOTAL	Ba	Sr	Y	Zr	Be	V
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	71.24	11.32	4.41	0.074	1.07	1.12	0.94	2.49	0.573	0.06	6.45	99.75	457	100	25	260	2	84
3	60.45	14.45	6.96	0.132	1.47	0.68	0.48	2.52	0.846	0.12	10.09	98.21	591	94	32	257	2	139
4	68.28	11.84	4.85	0.083	1.16	2.48	1.19	2.87	0.643	0.13	6.64	99.97	548	143	33	291	2	79
5	63.86	14.22	4.69	0.016	1.87	1.36	0.94	3.00	0.843	0.06	8.60	99.46	349	263	22	244	2	109
6	76.97	9.59	3.76	0.087	0.87	0.86	1.01	2.29	0.526	0.07	4.17	100.22	429	104	26	245	2	70
7	55.46	23.32	5.42	0.108	1.71	2.29	0.78	2.69	0.660	0.12	7.53	100.08	1408	123	27	192	2	99
SY3 CERT	<u>59.62</u>	<u>11.75</u>	<u>6.49</u>	<u>0.32</u>	<u>2.67</u>	<u>8.26</u>	<u>4.12</u>	<u>4.23</u>	<u>0.15</u>	<u>0.54</u>	1.16		450	302	718	320	20	50 syenite
SY-3/B	59.62	11.75	6.46	0.325	2.66	8.27	4.11	4.24	0.148	0.55			442	305	720	336	20	50
MRG-1 CERT	<u>39.09</u>	<u>8.48</u>	<u>17.93</u>	<u>0.17</u>	<u>13.55</u>	<u>14.71</u>	<u>0.74</u>	<u>0.18</u>	<u>3.77</u>	<u>0.09</u>	1.56		61	266	14	108	0.61	526 gabbro
MRG-1/B	39.09	8.43	17.79	0.167	13.35	14.43	0.75	0.19	3.775	0.07			53	270	14	98	1	526
W-2 CERT	<u>52.44</u>	<u>15.35</u>	<u>10.74</u>	<u>0.163</u>	<u>6.37</u>	<u>10.87</u>	<u>2.14</u>	<u>0.627</u>	<u>1.06</u>	<u>0.131</u>	0.60		182	194	24	94	1.3	262 diabase
W-2/B	52.54	15.33	10.72	0.163	6.33	10.74	2.26	0.66	1.055	0.13			173	193	22	97	1	263
DNC-1 CERT	<u>47.04</u>	<u>18.30</u>	<u>9.93</u>	<u>0.148</u>	<u>10.05</u>	<u>11.27</u>	<u>1.37</u>	<u>0.229</u>	<u>0.48</u>	<u>0.085</u>	0.60		114	145	18	41	1	148 dolerite
DNC-1/B	47.53	18.76	9.93	0.147	10.19	11.30	1.98	0.26	0.480	0.07			106	144	17	41	-1	139
BIR-1 CERT	<u>47.77</u>	<u>15.35</u>	<u>11.26</u>	<u>0.171</u>	<u>9.68</u>	<u>13.24</u>	<u>1.75</u>	<u>0.027</u>	<u>0.96</u>	<u>0.05</u>			7.7	108	16	22	0.58	313 basalt
BIR-1/B	47.77	15.69	11.34	0.171	9.68	13.21	1.89	0.03	0.953	0.03			12	109	18	23	-1	322
G-2 CERT	<u>68.08</u>	<u>15.35</u>	<u>2.66</u>	<u>0.032</u>	<u>0.75</u>	<u>1.96</u>	<u>4.08</u>	<u>4.48</u>	<u>0.48</u>	<u>0.14</u>			1882	478	11	309	2.5	36 granite
G-2/B	68.71	15.22	2.66	0.031	0.76	1.92	4.04	4.48	0.485	0.14			1921	473	11	312	2	34
NBS 1633b CERT	<u>49.24</u>	<u>28.43</u>	<u>11.13</u>	<u>0.020</u>	<u>0.799</u>	<u>2.11</u>	<u>0.271</u>	<u>2.26</u>	<u>1.32</u>	<u>0.53</u>			709	1041				296 fly ash
NBS 1633b/B	48.95	28.52	11.02	0.018	0.79	2.12	0.28	2.40	1.284	0.56			716	1036	88	235	12	290
STM-1 CERT	<u>59.64</u>	<u>18.39</u>	<u>5.22</u>	<u>0.22</u>	<u>0.101</u>	<u>1.09</u>	<u>8.94</u>	<u>4.28</u>	<u>0.135</u>	<u>0.158</u>			560	700	46	1210	9.6	(8.7) syenite
STM-1/B	59.67	18.37	5.19	0.217	0.11	1.13	8.93	4.34	0.136	0.17			603	707	44	1210	9	-5
IF-G CERT	<u>41.20</u>	<u>0.15</u>	<u>55.85</u>	<u>0.042</u>	<u>1.89</u>	<u>1.55</u>	<u>0.032</u>	<u>0.012</u>	<u>0.014</u>	<u>0.063</u>			1.5	3	9	2.4	4.7	4 iron form sample
IF-G/B	41.30	0.18	55.85	0.040	1.89	1.52	0.03	-0.01	0.014	0.07			7	6	9	14	4	-5
FK-N CERT	<u>65.02</u>	<u>18.61</u>	<u>0.09</u>	<u>0.005</u>	<u>0.01</u>	<u>0.11</u>	<u>2.58</u>	<u>12.81</u>	<u>0.02</u>	<u>0.02</u>			200	39	0.3	13	1	3 K-feldspar
FK-N/B	64.11	18.61	0.10	0.002	0.02	0.10	2.43	12.80	0.014	0.02			200	37	-1	17	1	-5

Note: Certificate data underlined are recommended values; other values are proposed except those preceded by a "T" which are information values.
 Note: The Fe2O3 for the standards is Total Fe2O3 and has not been adjusted for the FeO.


 Adrienne L. Rittau, B.Sc., C.Chem
 ICP Technical Manager

Activation Laboratories Ltd. Work Order No. 21659 Report No. 21398C

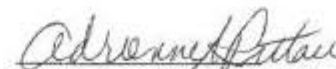
'Near Total' Digestion Analysis:

SAMPLE	Ag ppm	Cd ppm	Cu ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm	Bi ppm	S %
1	0.3	-0.3	31	31	27	77	-2	0.015
3	0.4	0.4	34	74	27	105	-2	0.015
4	0.5	-0.3	26	32	29	81	-2	0.018
5	0.4	-0.3	26	43	21	87	-2	0.510
6	-0.3	-0.3	27	31	23	68	-2	0.015
7	-0.3	-0.3	29	41	16	108	-2	0.022
G-2 cert	0.04	<u>0.016</u>	11	(5	<u>30</u>	<u>86</u>	<u>0.037</u>	(0.01
G-2	-0.3	-0.3	10	2	28	86	-2	0.017
SDC-1 cert	<u>0.041</u>	<u>(.08</u>	<u>30</u>	<u>38</u>	<u>25</u>	<u>103</u>	<u>0.26</u>	<u>0.065</u>
SDC-1	-0.3	-0.3	33	36	32	104	-2	0.069
DNC-1 cert	<u>(.027</u>	<u>(.182</u>	<u>96</u>	<u>247</u>	<u>6.3</u>	<u>66</u>	<u>(.02</u>	<u>(0.039</u>
DNC-1	-0.3	-0.3	95	240	11	63	-2	0.058
SCO-1 cert	<u>0.134</u>	<u>0.14</u>	<u>28.7</u>	<u>27</u>	<u>31</u>	<u>103</u>	<u>0.37</u>	<u>0.063</u>
SCO-1	-0.3	-0.3	40	27	35	105	-2	0.076
GXR-6 cert	<u>1.3</u>	<u>(1</u>	<u>66</u>	<u>27</u>	<u>101</u>	<u>118</u>	<u>(.29</u>	<u>0.016</u>
GXR-6	0.5	0.8	70	27	106	132	-2	0.020
GXR-2 cert	<u>17</u>	<u>4.1</u>	<u>76</u>	<u>21</u>	<u>690</u>	<u>530</u>	<u>(.69</u>	<u>0.031</u>
GXR-2	16.4	3.7	77	19	649	507	-2	0.031
GXR-1 cert	<u>31</u>	<u>3.3</u>	<u>1110</u>	<u>41</u>	<u>730</u>	<u>760</u>	<u>1380</u>	<u>0.257</u>
GXR-1	29.9	4.7	1153	43	663	692	1157	0.241
GXR-4 cert	<u>4</u>	<u>(.86</u>	<u>6520</u>	<u>42</u>	<u>52</u>	<u>73</u>	<u>19</u>	<u>1.770</u>
GXR-4	3.1	-0.3	6203	41	45	76	23	1.587

Note: Certificate data underlined are recommended values; other values are proposed except those preceded by a "C" which are information values.
Barite, gahnite, chromite, cassiterite, zircon, sphene, and magnetite may not be totally dissolved.

Clients are advised to obtain assays for Ag>100 ppm and Pb>5000 ppm due to potential solubility problems.
Values for Cu, Ni, Zn, Mo greater than 1% should be assayed if accuracy better than +/-10-15% is required.
Values above 1% are for informational purposes only and should not be relied upon for promotional or ore reserve calculations. Assays are recommended for this purpose.
Sulphur will precipitate in samples containing massive sulphides.

Negative values indicate less than the reporting limit.
99999 indicates greater than 10%.


Adrienne I. Rittau, B.Sc., C.Chem
ICP Technical Manager

Activation Laboratories Ltd. Work Order No. 21659 Report No. 21398D

SAMPLE	F
	ppm
1	477
3	429
4	600
5	789
6	341
7	293
UB-N CERT	95
UB-N	85
MRG-1 CERT	<u>240</u>
MRG-1	162
DR-N CERT	<u>500</u>
DR-N	374
SDC-1 CERT	<u>595</u>
SDC-1	635
STM-1 CERT	<u>910</u>
STM-1	781
G-2 CERT	<u>1280</u>
G-2	1137
SGR-1 CERT	<u>1860</u>
SGR-1	1996
SY-3 CERT	<u>5960</u>
SY-3	6795
MICA-Fe CERT	<u>16000</u>
MICA-Fe	12600
GXR-3 CERT	86200
GXR-3	89550

Note: Certificate data underlined are recommended values; other values are proposed except those preceded by a "*" which are information values.


 Adrienne I. Rittau, B.Sc., C.Chem
 ICP Technical Manager

Activation Laboratories Ltd. Work Order #21659 Report #21398E

SAMPLE NO.	TOTAL	TOTAL	GRAPHITIC	GRAPHITIC	ORGANIC	ORGANIC	CO2	CO2	S	S	SO4	SO4
	C	C	C	C	C	C						
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)						
	CHECKS		CHECKS		CHECKS							
1	0.34	0.35	0.08	0.08	0.11	0.12	0.55	0.55	0.02	0.01	-0.05	-0.05
3	0.34		0.20		0.10		0.15		0.01		-0.05	
4	0.72		0.11		0.12		1.80		0.01		-0.05	
5	0.70		0.22		0.27		0.77		0.54		0.81	
6	0.16		0.06		0.04		0.22		0.01		-0.05	
7	0.82	0.86	0.13	0.13	0.28	0.26	1.50	1.72	0.01	0.01	-0.05	-0.05
STANDARDS												
AR4016 CERTIFIED	2.10								1.98			
AR4016 FOUND	2.08								1.95			
AR4017 CERTIFIED	0.55								0.46			
AR4017 FOUND	0.50								0.51			
SDO-1 CERTIFIED	9.95								5.35			
SDO-1 FOUND	9.90								5.20			
BLANK	-0.01								0.01			

Actlabs Ultratrace 1 Job #: 21659 Report#: 21398 Client: GEUS Contact: Torsen Hol
Trace Element Values Are in Parts Per Million unless otherwise indicated. Negative Values Equal Not Detected at That Lower Limit.
Values = 999999 are greater than working range of instrument

Sample ID:	Li	Be	B	Na%	Mg%	Al%	K%	Ca%	V	Cr	Mn	Fe%	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	In	Sn	Sb
1	13.4	1.2	2	0.033	0.42	1.96	0.34	0.52	44	31.0	508	2.78	16.6	23.4	21.9	39.6	6.40	-0.1	5.1	0.2	30.6	23.9	12.3	13.6	0.4	0.27	-0.05	0.2	-0.02	0.49	0.09
3	19.9	1.1	3	0.030	0.58	2.37	0.47	0.36	73	47.9	985	4.40	21.0	54.6	31.7	68.4	7.31	0.1	11.8	0.8	35.0	38.0	19.5	17.5	0.1	0.43	-0.05	0.2	0.02	0.54	0.11
4	15.0	1.0	2	0.031	0.50	1.95	0.36	1.60	44	31.5	605	3.16	10.0	26.3	24.7	48.2	6.33	-0.1	6.6	0.5	34.0	52.1	20.1	11.0	1.2	0.35	-0.05	0.2	-0.02	0.53	0.13
5	32.0	0.8	7	0.475	0.74	1.84	0.59	0.96	40	50.0	84	2.69	8.8	30.6	23.2	53.6	5.38	-0.1	4.0	0.4	37.8	194	6.4	11.3	0.1	0.74	-0.05	0.1	-0.02	0.38	0.10
6	9.3	0.6	2	0.032	0.33	1.18	0.23	0.34	34	22.6	605	2.28	9.9	22.6	26.1	33.0	3.99	-0.1	5.2	0.2	18.9	20.1	13.5	12.1	0.3	0.37	-0.05	0.2	-0.02	0.32	0.11
7	17.0	0.9	1	0.040	0.51	1.85	0.33	1.48	44	31.5	626	3.31	13.1	30.4	25.3	62.0	6.21	-0.1	6.9	0.2	29.8	42.7	15.0	6.7	0.6	0.43	-0.05	0.2	-0.02	0.44	0.14
Control Material GXR-6	23.4	0.8	-1	0.077	0.42	7.49	1.21	0.15	159	77.9	1130	6.53	13.1	22.6	67.6	102	18.4	-0.1	233	0.2	66.3	27.7	6.1	5.9	-0.1	0.80	0.29	-0.1	0.03	0.41	0.31
Control Material GXR-2	44.2	1.0	2	0.191	0.48	3.17	0.64	0.78	39	22.1	1030	1.79	7.6	15.2	74.3	544	9.38	-0.1	12.6	-0.1	51.5	82.0	8.9	8.7	1.8	0.87	17.3	3.5	0.02	0.47	16.4
Control Material GXR-1	5.3	1.0	1	0.053	0.15	0.32	0.03	1.10	73	5.9	1110	22.5	7.0	35.7	1110	742	3.58	1.4	257	12.2	2.9	143	25.1	7.9	-0.1	12.6	31.8	2.3	0.30	9.15	55.1
Control Material GXR-4	9.4	1.5	-1	0.169	1.84	2.82	1.84	1.02	81	57.0	145	3.61	14.1	47.4	6900	44.6	10.9	0.2	106	5.3	100	75.0	11.4	6.7	0.2	366	3.86	0.5	0.10	2.58	2.45
Cert Data GXR-6	32.0	1.4	10	0.104	0.609	17.7	1.87	0.18	186	98	1,007	5.58	13.8	27	88	118	35	-	330	0.94	90	35	14	110	7.5	2.4	1.3	1	0.26	1.7	3.6
Cert Data GXR-2	54.9	1.7	42	0.556	0.850	16.5	1.37	0.93	52	36	1,007	1.88	8.6	21	76	530	37	-	25	0.81	78	180	17	289	11	2.1	17	4.1	0.252	1.7	49
Cert Data GXR-1	8.2	1.22	15	0.052	0.217	3.15	0.05	0.86	80	12	852	23.6	6.2	41	1,110	780	13.8	-	427	16.6	14	275	32	38	0.8	18	31	3.3	0.77	54	122
Cert Data GXR-4	11.1	1.9	4.5	0.564	1.858	7.20	4.01	1.01	87	64	155	3.09	14.6	42	6,520	73	20	-	98	5.6	160	221	14	186	10	310	4	0.86	0.27	5.6	4.8

Certified By:



D. D'Anna, Dipl. T.
ICPMS Technical Manager, Activation Laboratories Ltd.

Date: 16 MAR 2001

This report shall not be reproduced except in full without the written approval of the laboratory.
Unless otherwise instructed, samples will be disposed of 90 days from the date of this report.

Actlabs Ultratrace 1 Job #: 21659

Trace Element Values Are in Parts Per

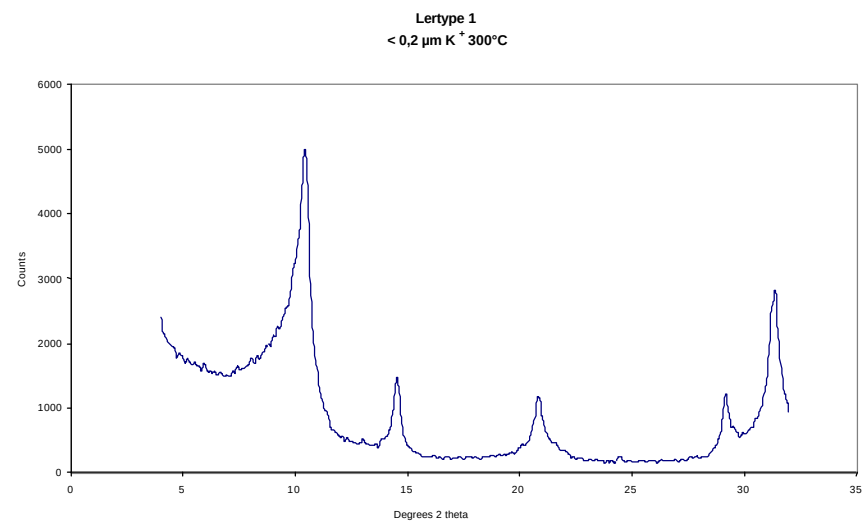
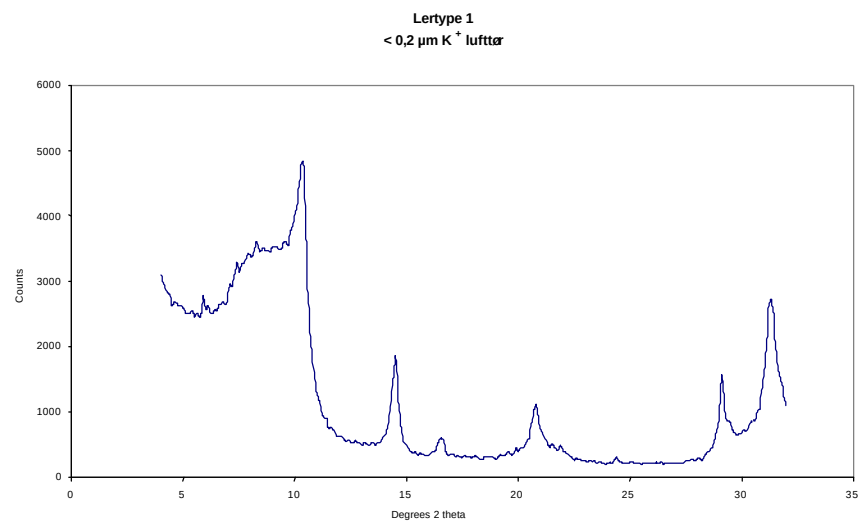
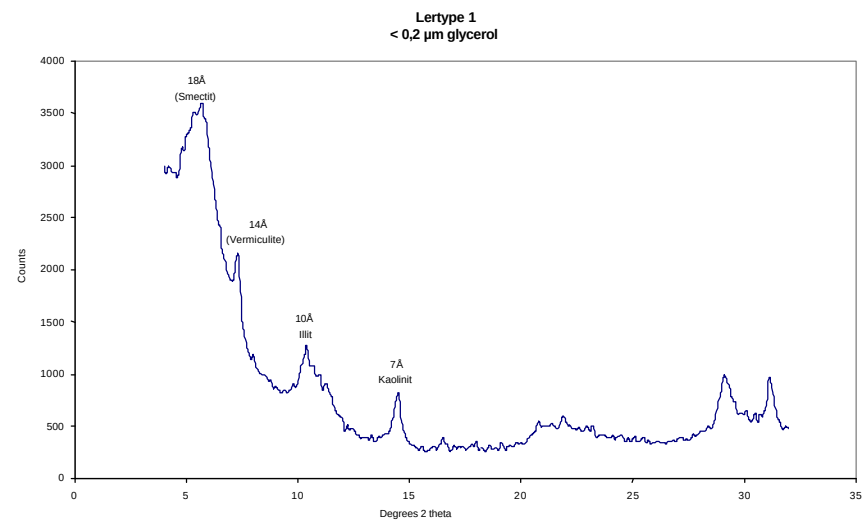
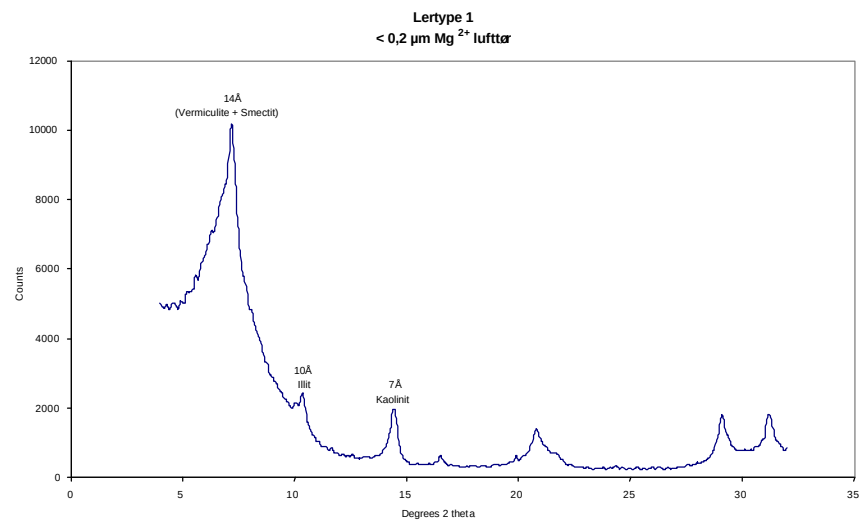
Values = 999999 are greater than work

Sample ID:

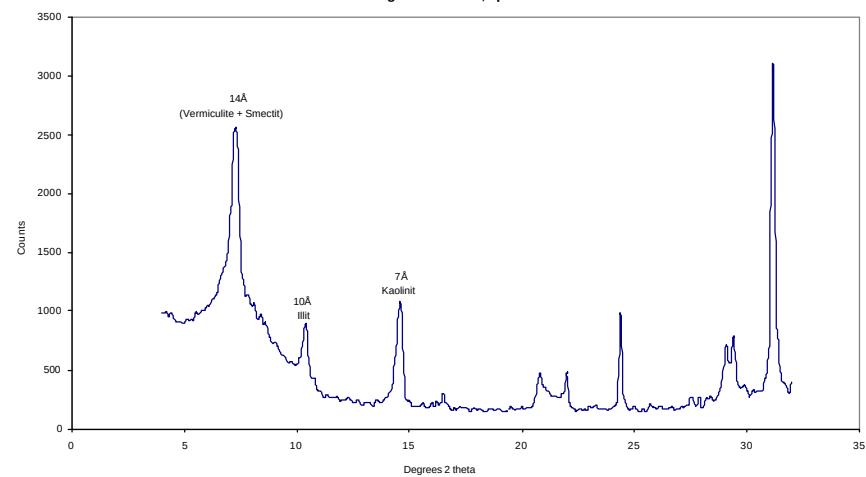
Sample ID:	Te	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Au	PPB	Tl	Pb	Bi	Th	U
1	-0.02	2.1	90.3	25.2	76.9	25.6	5.2	0.9	0.5	1.2	0.2	0.3	-0.05	-0.2	-0.001	-0.2	0.24	14.3	0.17	6.8	1.0	
3	0.06	2.2	224	31.4	74.2	32.0	6.3	1.2	0.8	1.8	0.2	0.3	-0.05	-0.2	-0.001	-0.2	0.25	16.0	0.20	7.6	0.9	
4	-0.02	2.2	118	34.2	68.8	33.5	6.4	1.1	0.7	1.8	0.2	0.2	-0.05	-0.2	-0.001	-0.2	0.31	16.6	0.19	7.7	1.1	
5	-0.02	2.2	56.0	16.0	51.3	16.8	3.4	0.6	0.3	0.6	-0.1	0.3	-0.05	-0.2	0.004	-0.2	0.14	12.7	0.17	7.2	1.6	
6	-0.02	1.4	82.1	23.4	52.6	22.9	4.5	0.8	0.5	1.3	0.2	0.3	-0.05	-0.2	0.001	-0.2	0.18	10.5	0.14	5.6	0.7	
7	0.02	1.6	277	28.0	62.2	27.2	5.2	0.9	0.6	1.3	0.2	0.1	-0.05	-0.2	-0.001	-0.2	0.26	16.4	0.22	6.1	1.0	
Control Material GXR-6	-0.02	3.6	842	11.2	33.1	11.1	2.2	0.5	0.3	0.6	-0.1	-0.1	-0.05	-0.2	-0.001	76.5	1.78	99.1	0.10	3.7	0.8	
Control Material GXR-2	0.38	4.2	1080	20.1	42.7	16.6	3.0	0.5	0.3	0.6	-0.1	-0.1	-0.05	-0.2	-0.001	33.3	0.58	661	0.28	3.9	1.5	
Control Material GXR-1	8.88	4.1	249	4.6	9.60	5.7	2.1	0.4	0.6	1.9	0.2	-0.1	-0.05	140	0.004	3660	0.37	654	1110	1.2	26.7	
Control Material GXR-4	0.90	2.7	24.5	43.1	83.1	33.0	5.3	1.2	0.5	0.8	0.1	0.2	-0.05	15.0	0.198	562	2.90	47.9	24.7	17.6	5.2	
Cert Data GXR-6	0.018	4.2	1,300	13.9	36	13	2.87	0.76	0.415	2.4	0.33	4.3	0.485	1.9	-	95	2.2	101	0.29	5.3	1.54	
Cert Data GXR-2	0.69	5.2	2,240	25.6	51.4	19	3.5	0.81	0.48	2.04	0.27	8.3	0.9	1.9	-	36	1.03	690	0.69	8.8	2.9	
Cert Data GXR-1	13	3	750	7.5	17	18	2.7	0.69	0.83	1.9	0.28	0.96	0.175	164	-	3,300	0.39	730	1,380	2.44	34.9	
Cert Data GXR-4	0.97	2.8	1,640	64.5	102	45	6.6	1.83	0.36	1.6	0.17	6.3	0.79	30.8	-	470	3.2	52	19	22.5	6.2	

Bilag 4

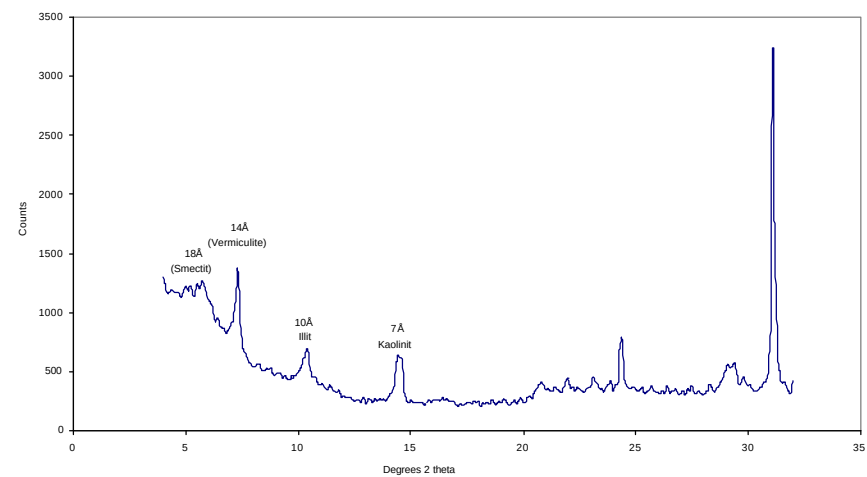
Lermineralogiske analyser af 6 udvalgte lertyper.



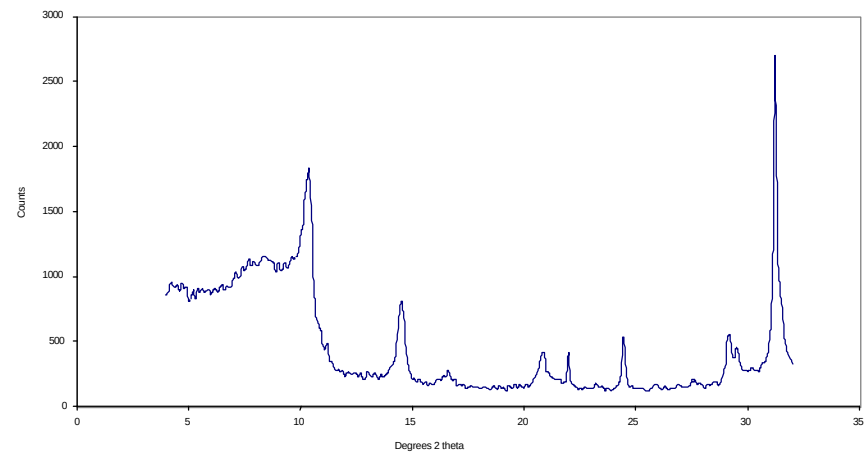
Lertype 1
Mg²⁺ lufttør 2 - 0,2 µm



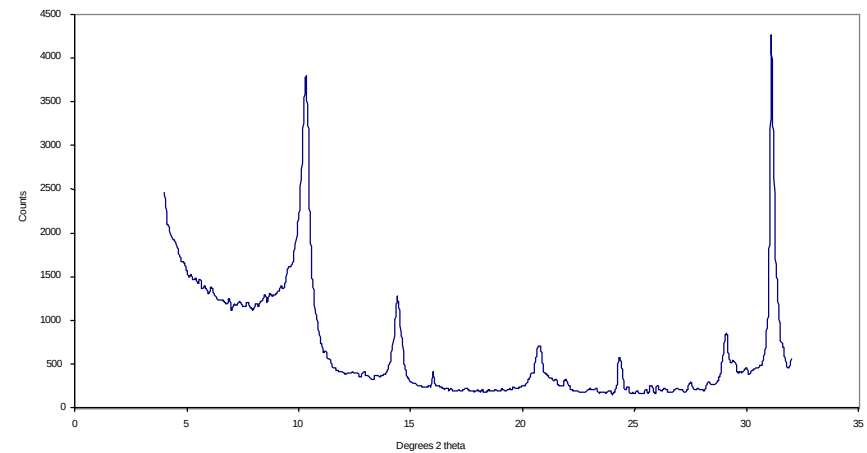
Lertype 1
2 - 0,2 µm glycerol

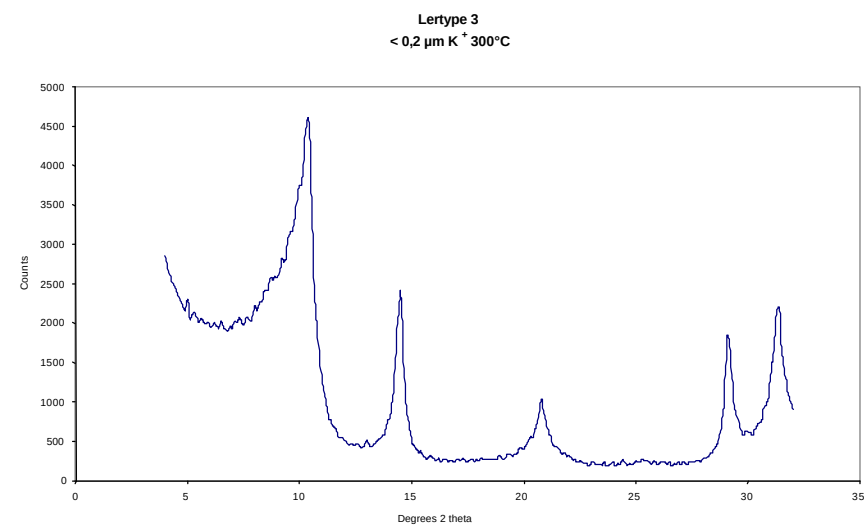
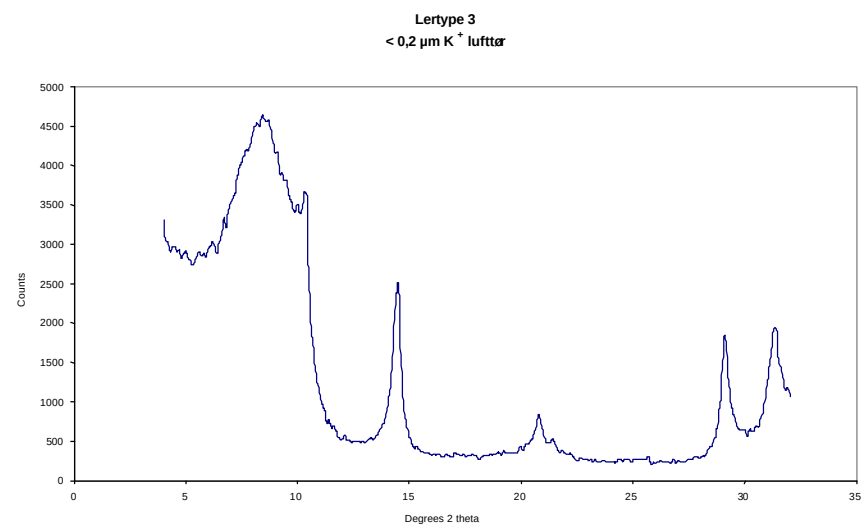
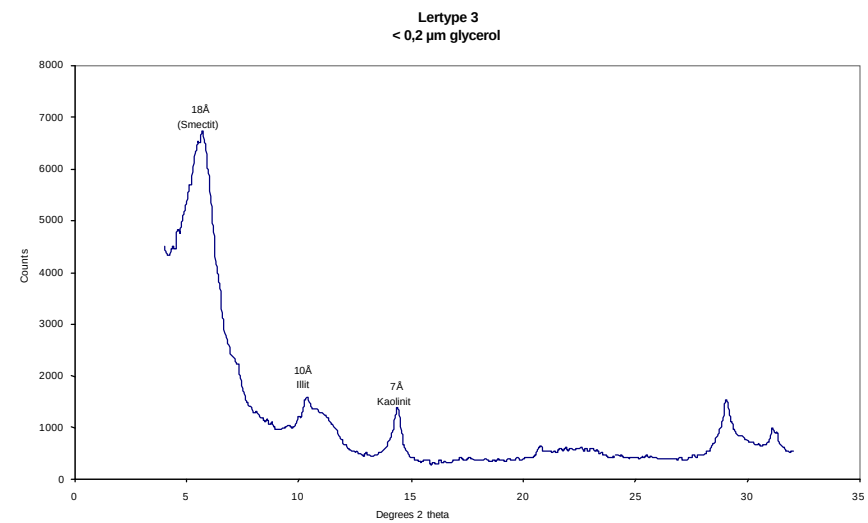
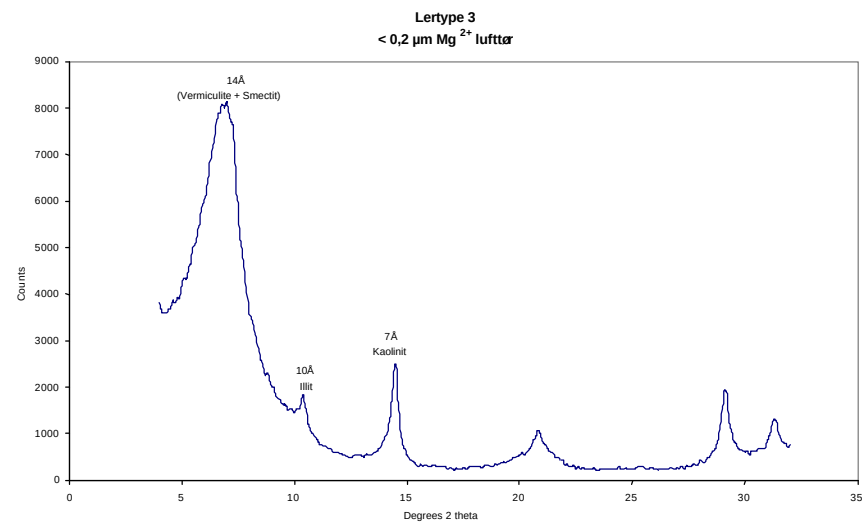


Lertype 1
K⁺ lufttør 2 - 0,2 µm

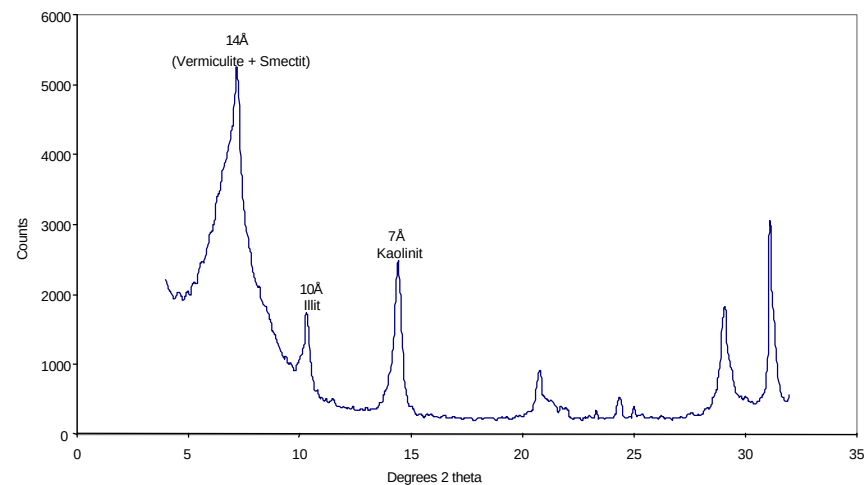


Lertype 1
K⁺ 300°C 2 - 0,2 µm

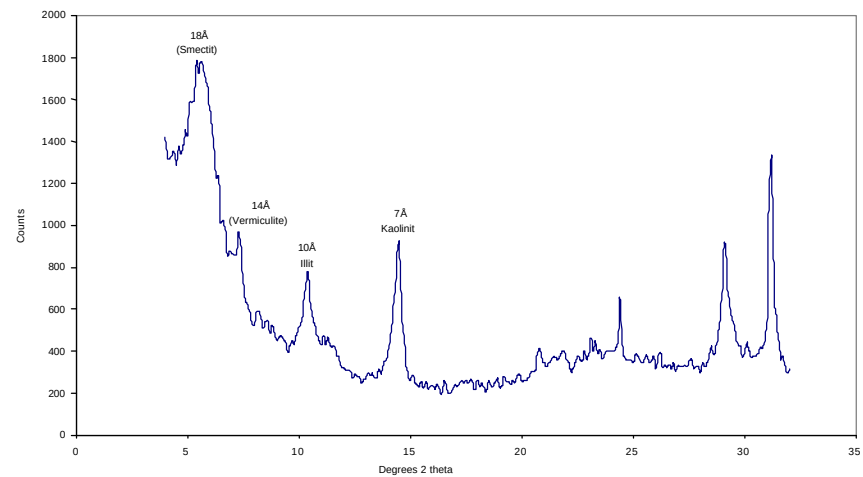




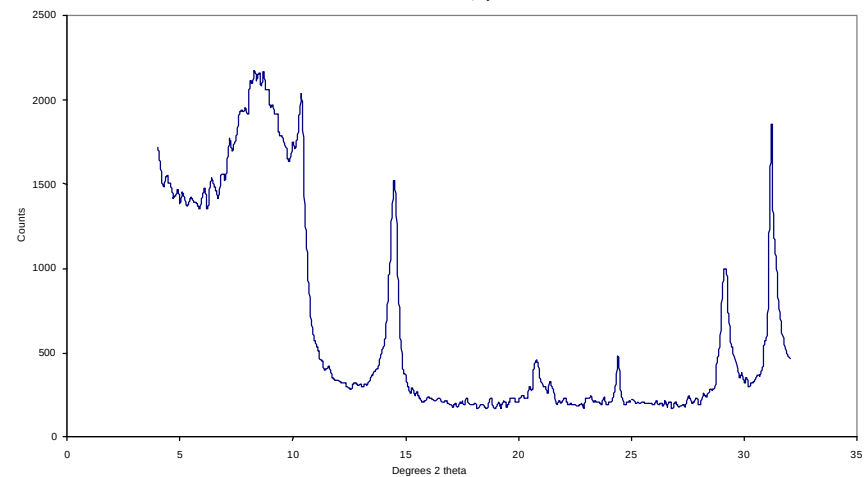
Lertype 3
Mg²⁺ lufttør 2 - 0,2 µm



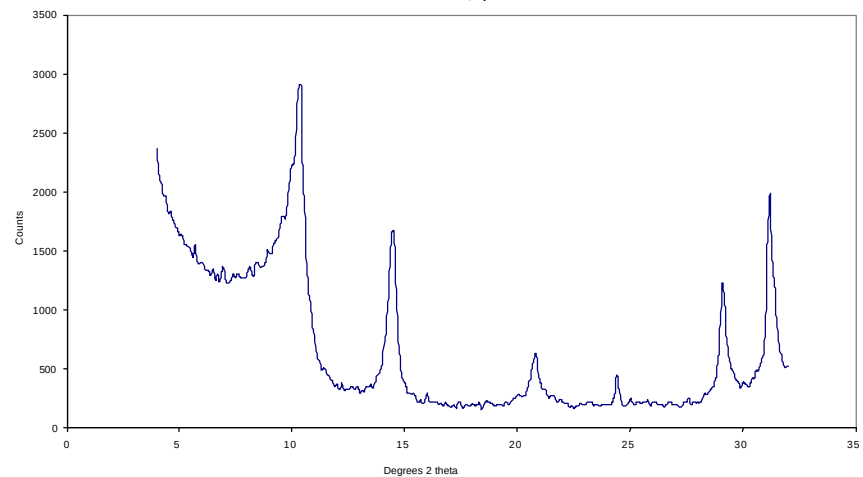
Lertype 3
2 - 0,2 µm glycerol

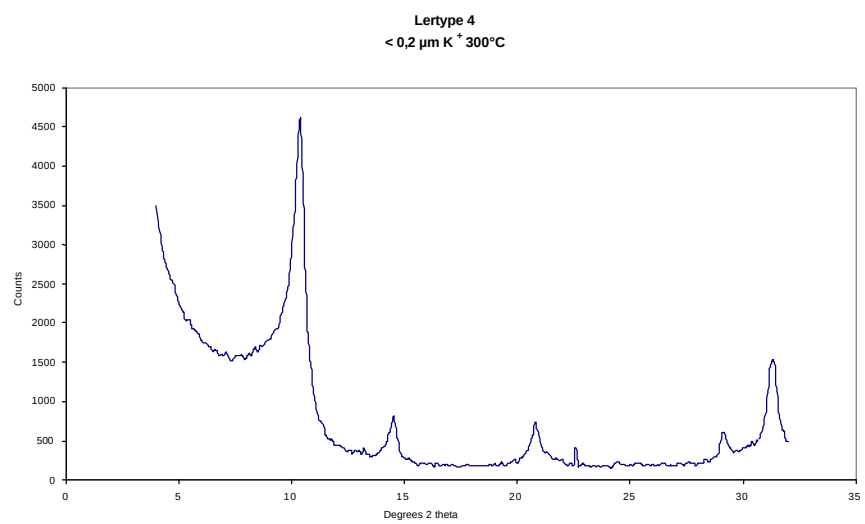
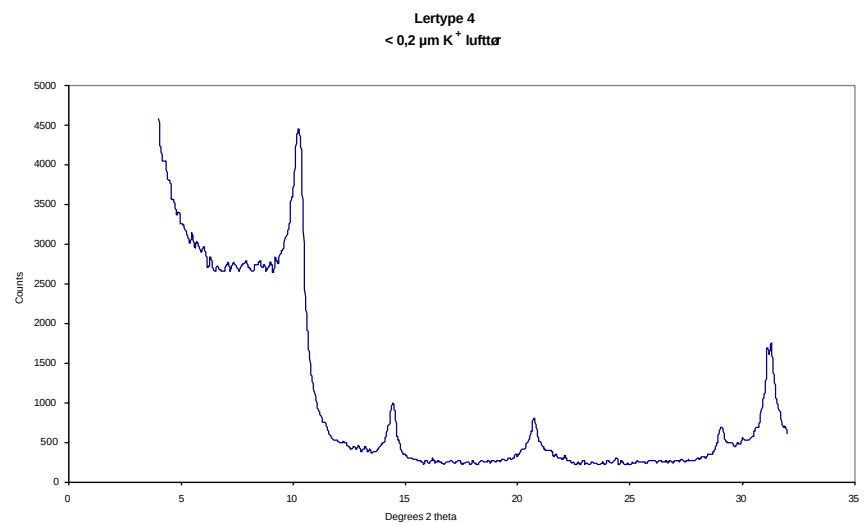
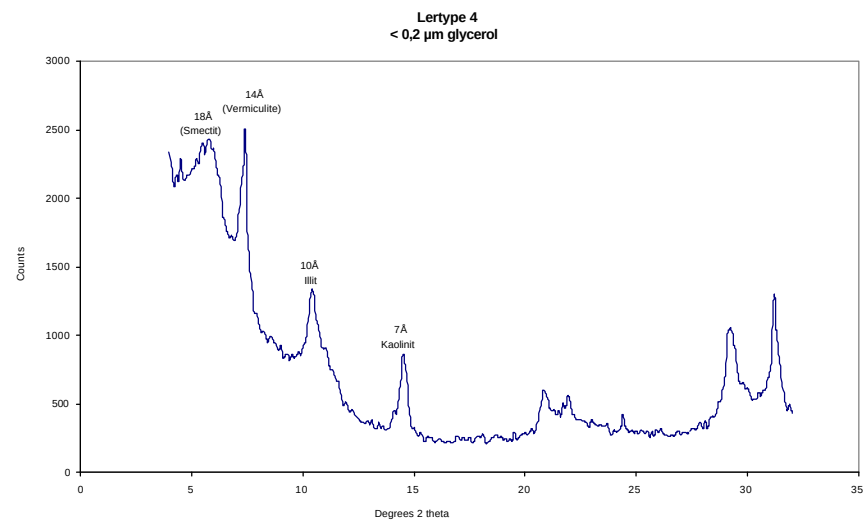
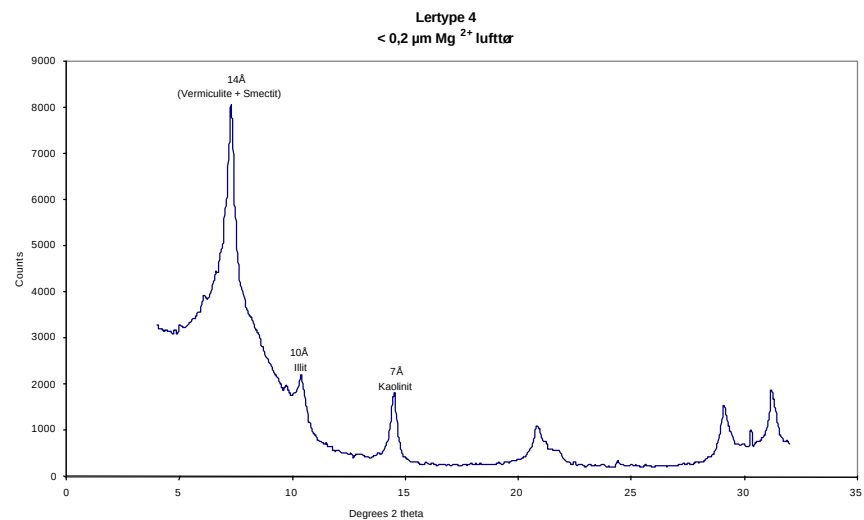


Lertype 3
K⁺ lufttør 2 - 0,2 µm

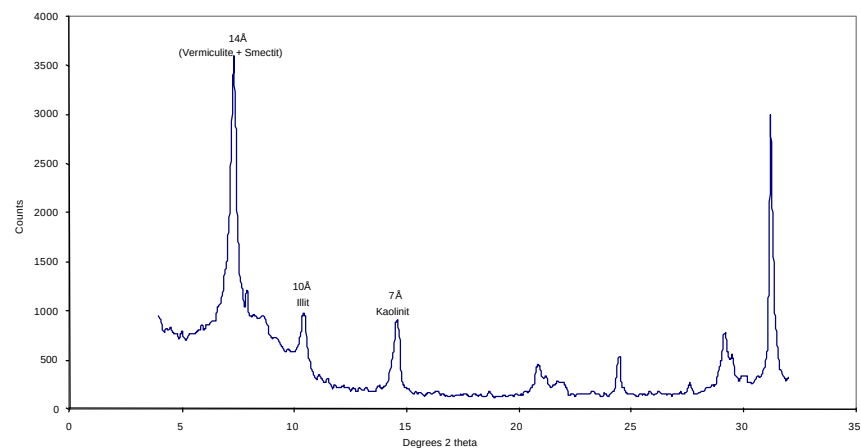


Lertype 3
K⁺ 300°C 2 - 0,2 µm

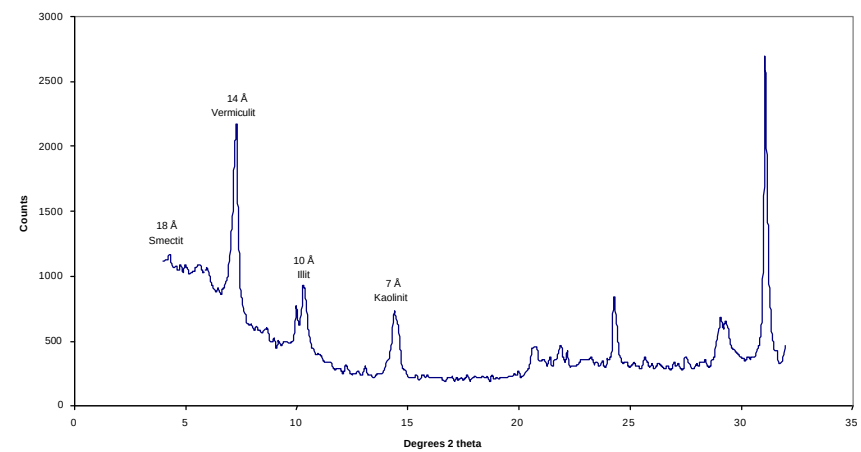




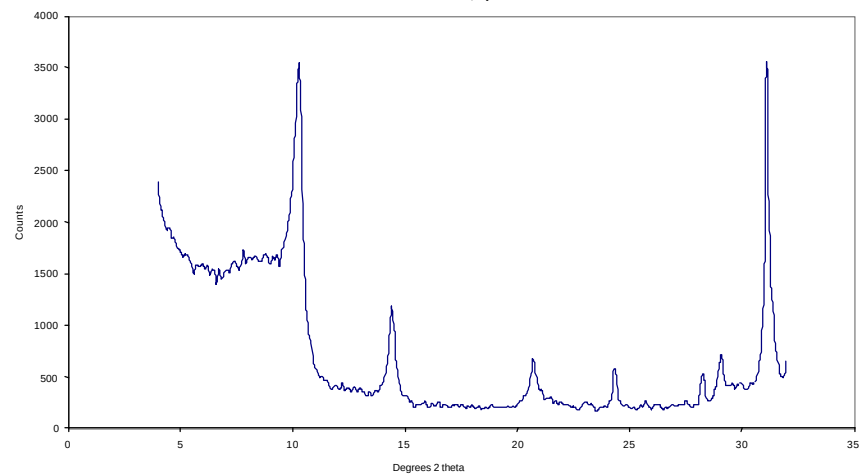
Lertype 4
Mg²⁺ lufttør 2 - 0,2 µm



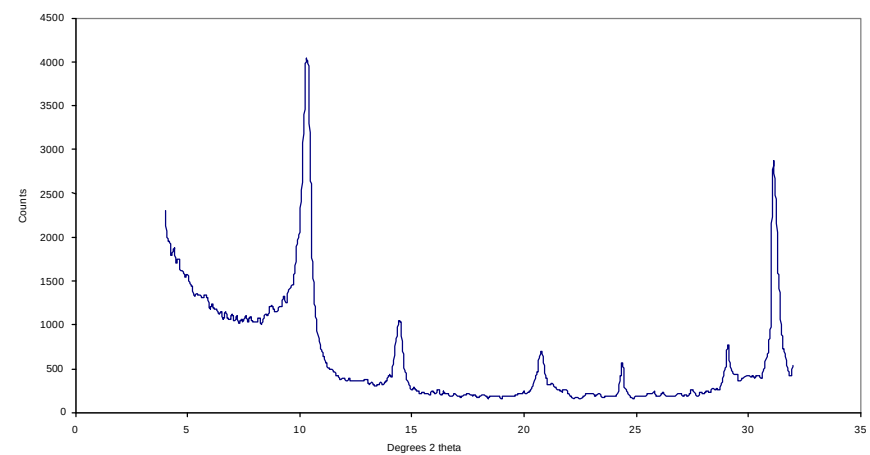
Lertype 4
2 - 0,2 µm glycerol

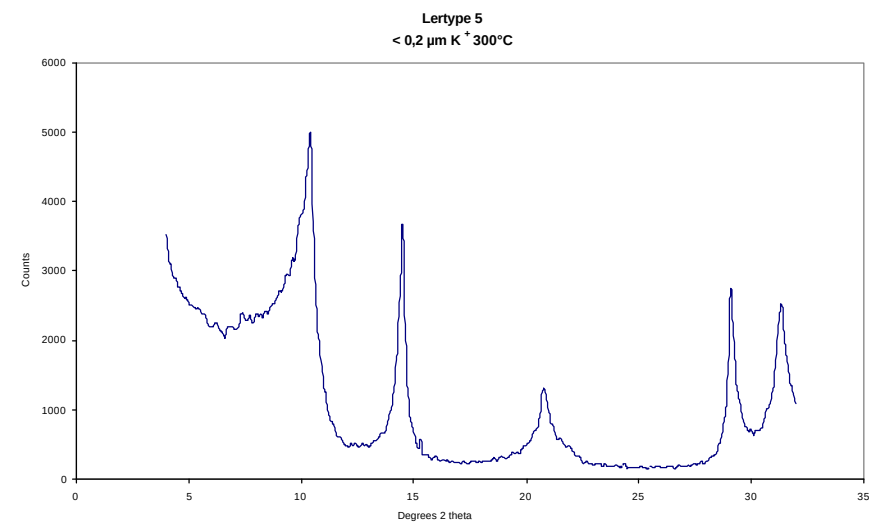
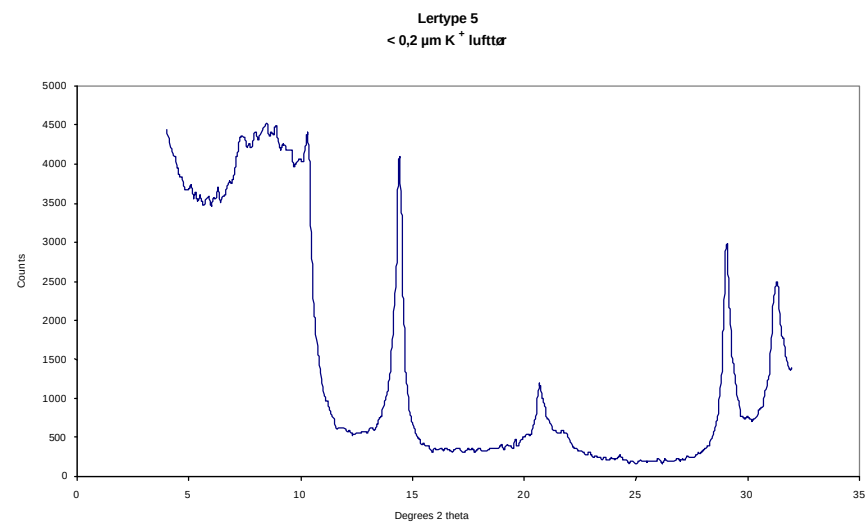
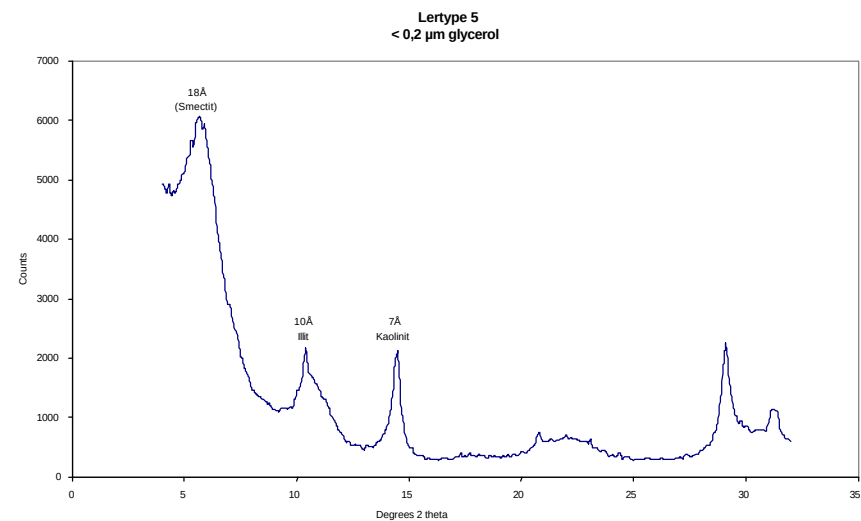
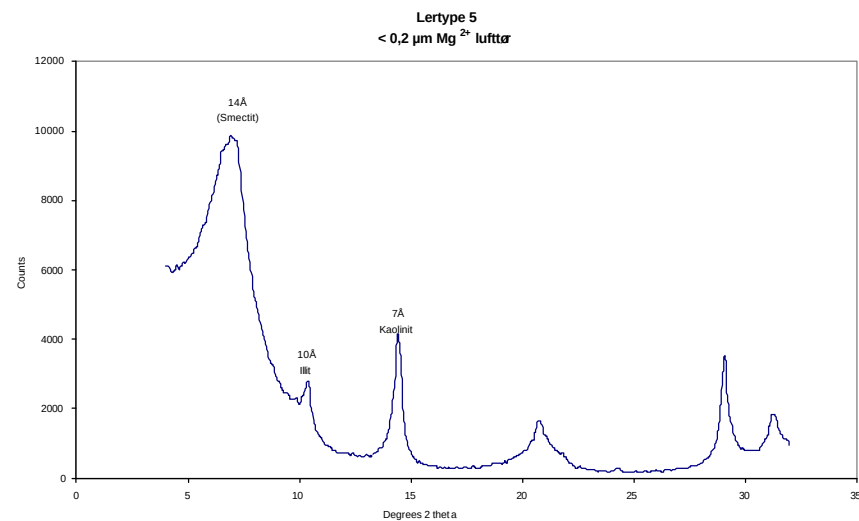


Lertype 4
K⁺ lufttør 2 - 0,2 µm

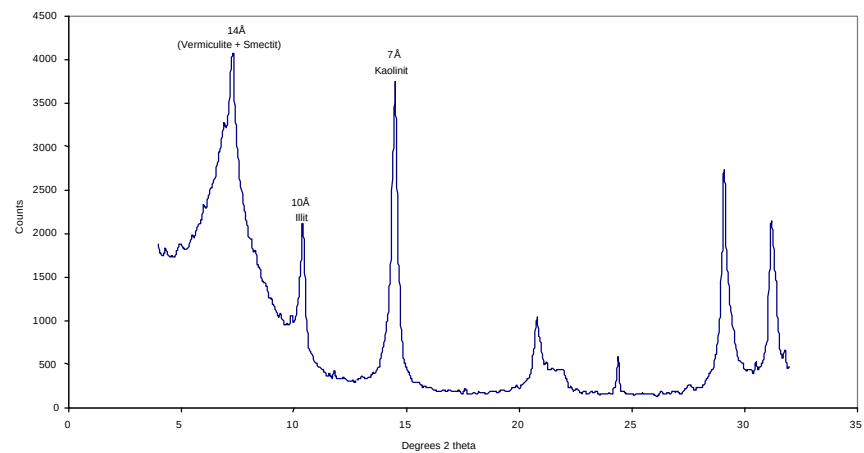


Lertype 4
K⁺ 300°C 2 - 0,2 µm

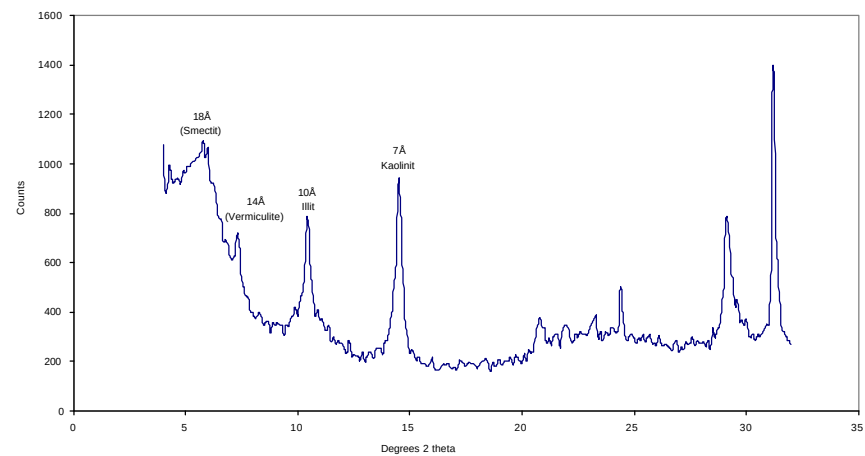




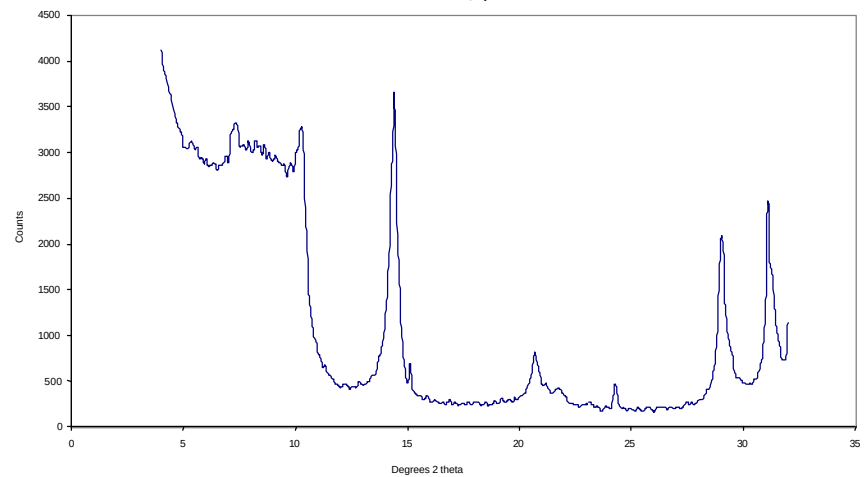
Lertype 5
Mg²⁺ lufttør 2 - 0,2 µm



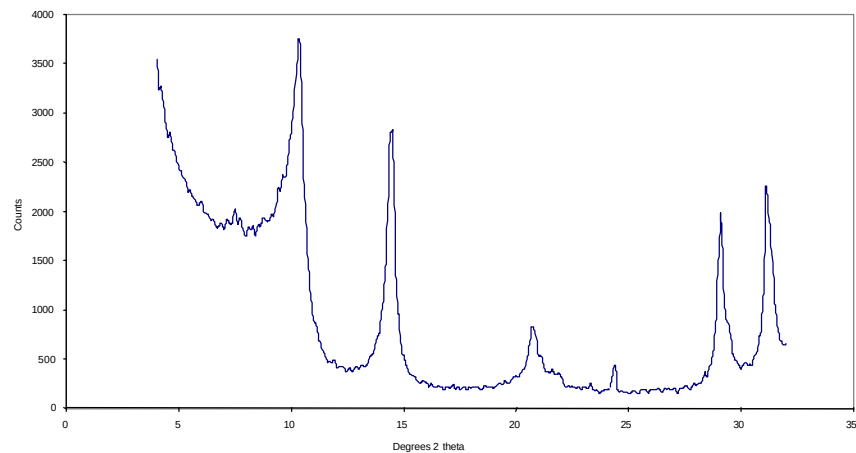
Lertype 5
2 - 0,2 µm glycerol

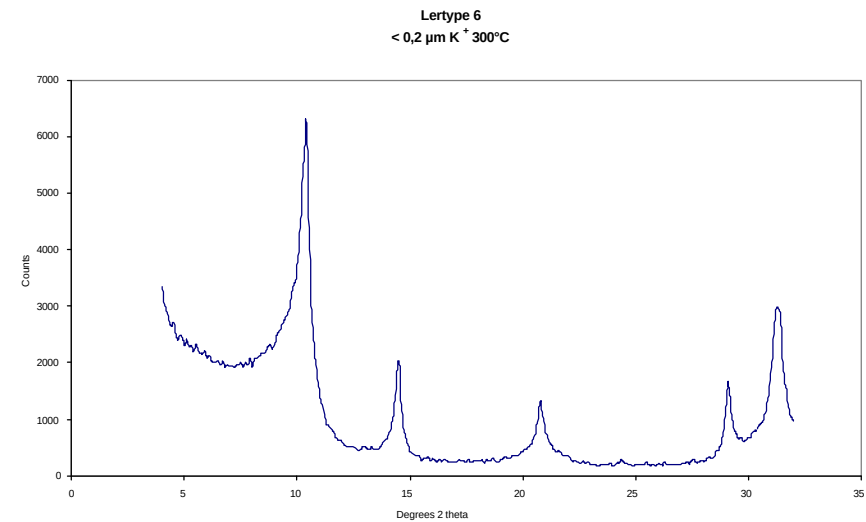
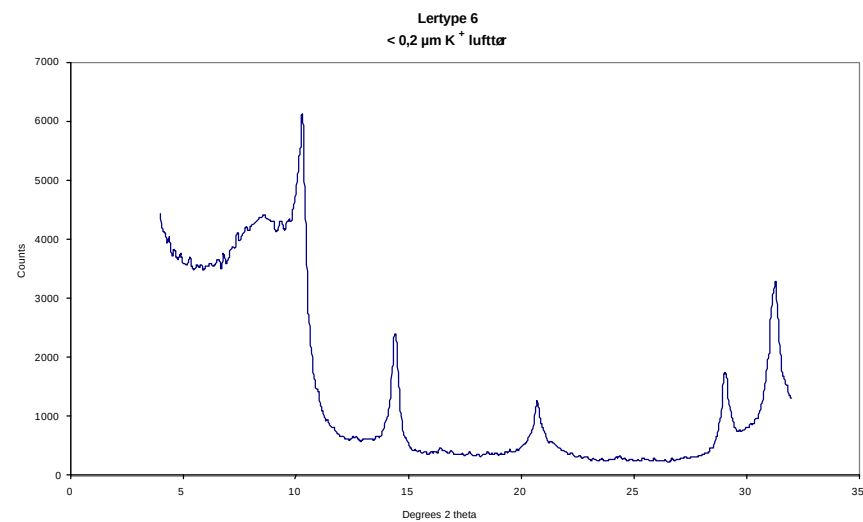
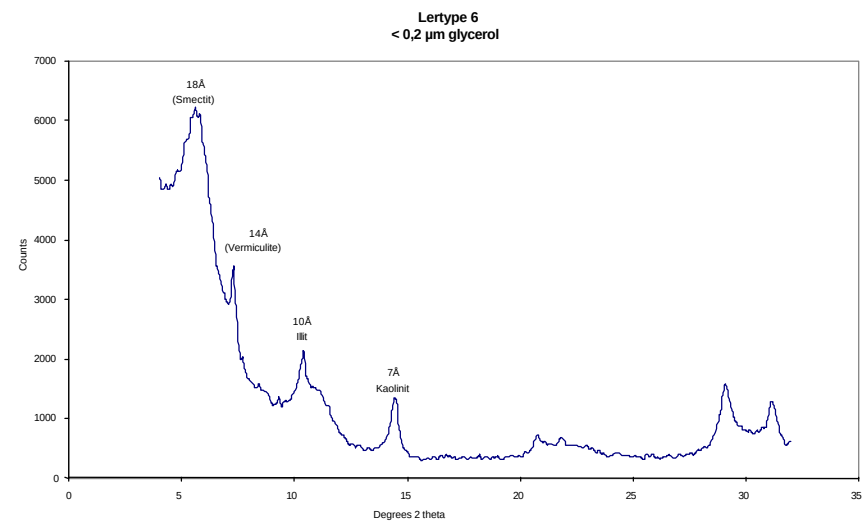
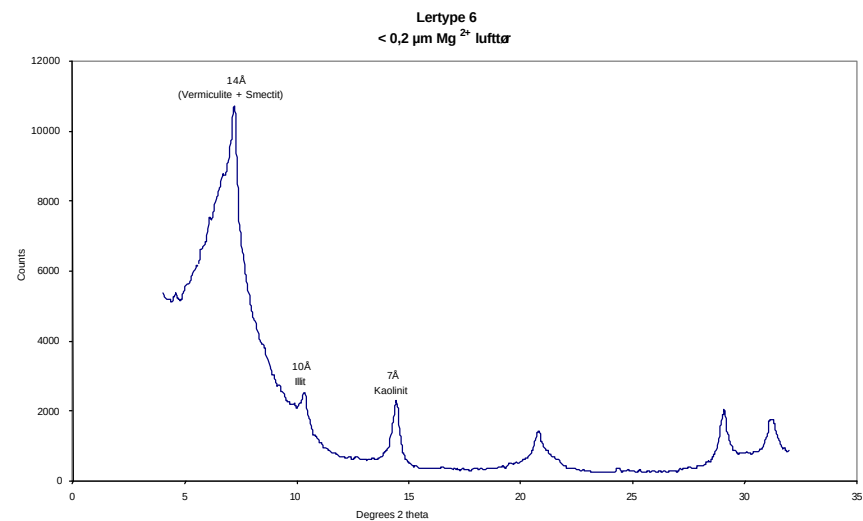


Lertype 5
K⁺ lufttør 2 - 0,2 µm

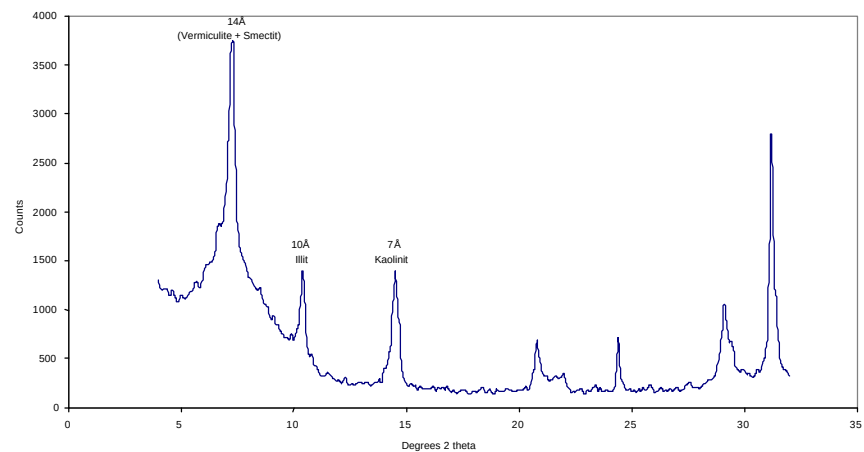


Lertype 5
K⁺ 300°C 2 - 0,2 µm

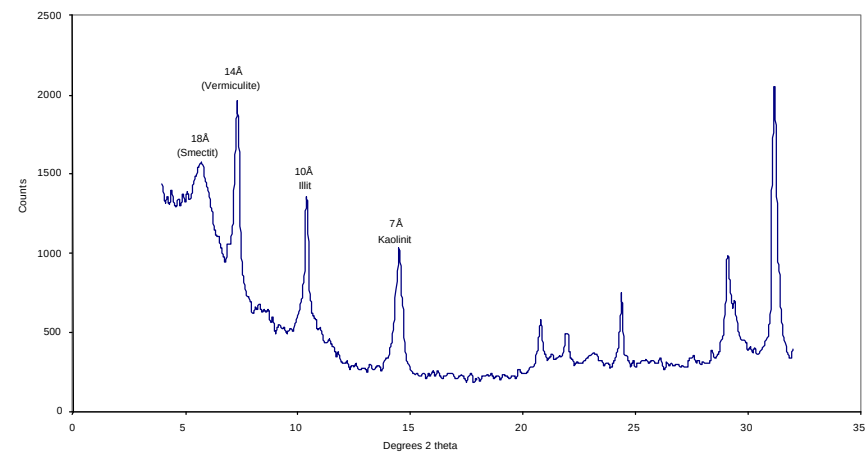




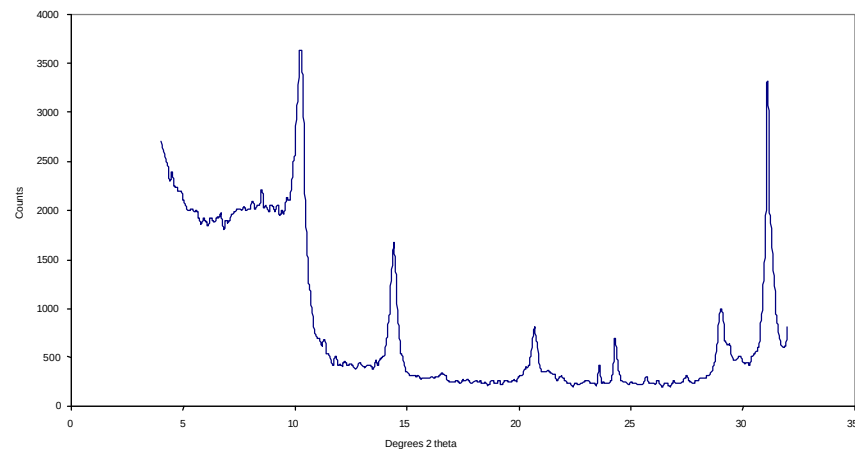
Lertype 6
Mg²⁺ lufttør 2 - 0,2 µm



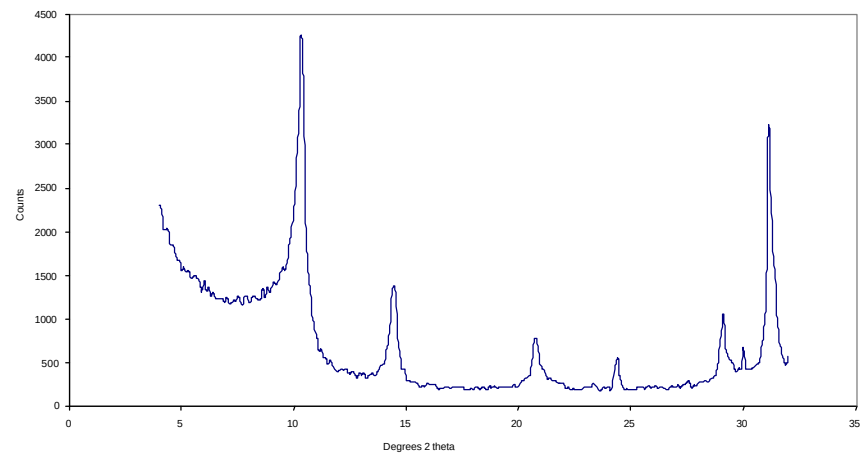
Lertype 6
glycerol 2 - 0,2 µm

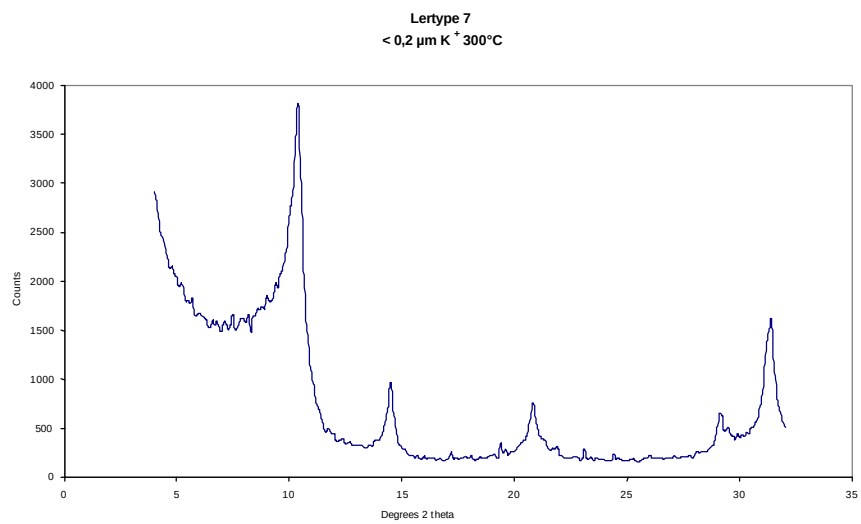
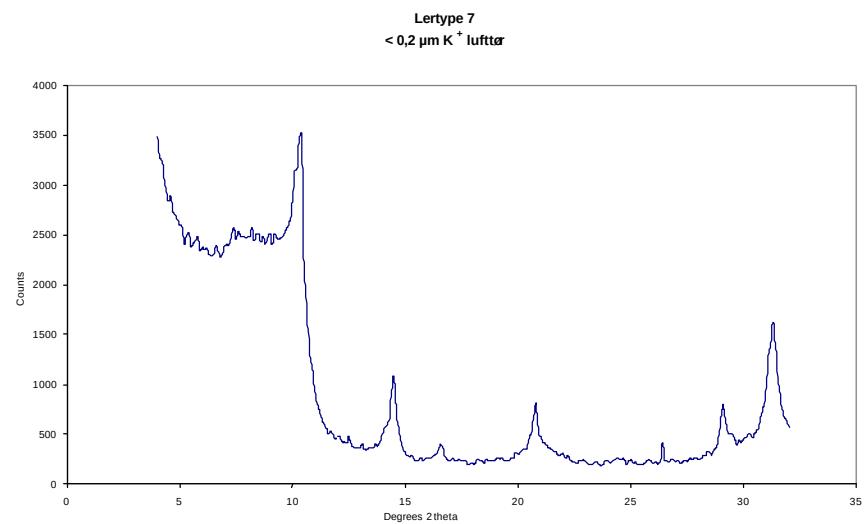
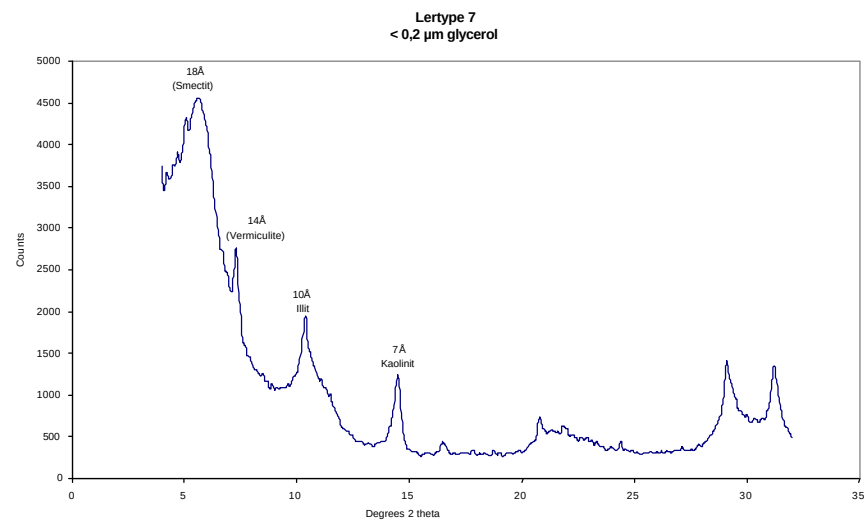
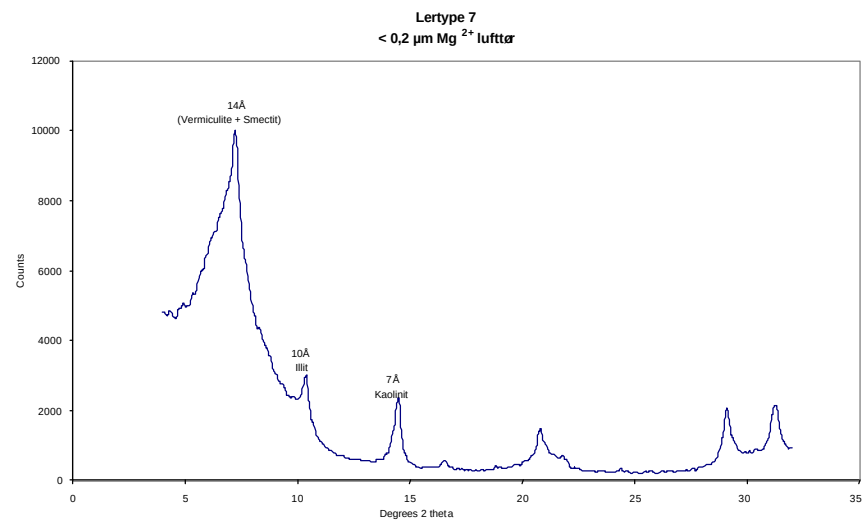


Lertype 6
K⁺ lufttør 2 - 0,2 µm

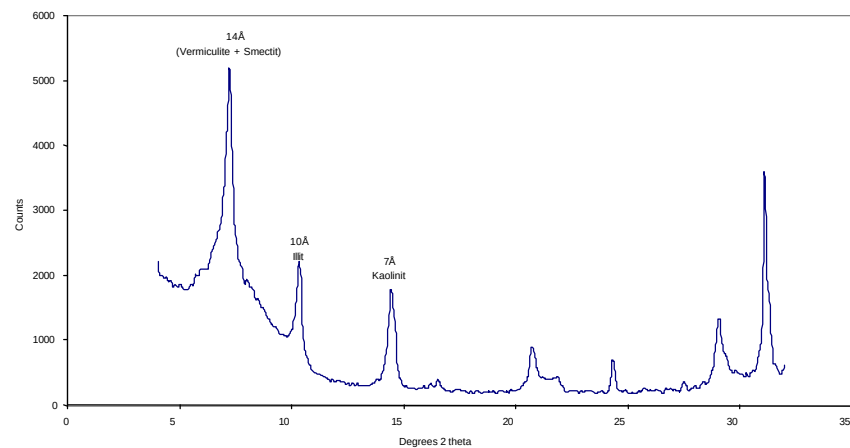


Lertype 6
K⁺ 300°C 2 - 0,2 µm

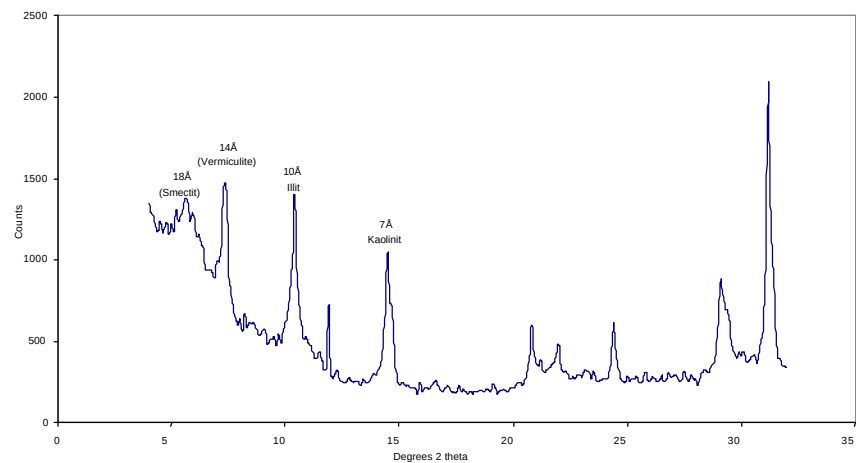




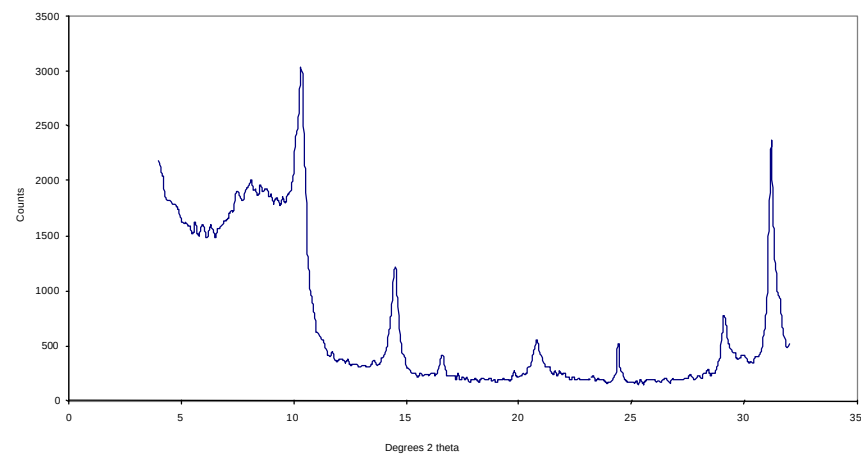
Lertype 7
Mg²⁺ lufttør 2 - 0,2 µm



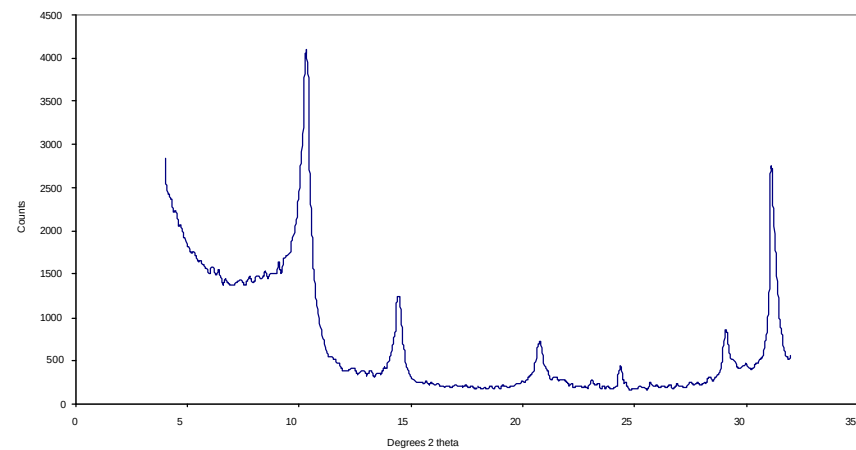
Lertype 7
glycerol 2 - 0,2 µm



Lertype 7
K⁺ lufttør 2 - 0,2 µm



Lertype 7
K⁺ 300°C 2 - 0,2 µm



Bilag 5

Sigte- og sedigrafanalyser af 6 udvalgte lertyper.

Grain Size Distribution

GEUS
 Thoravej 8
 2400 København NV
 Tlf. 38 14 20 00
 Sedimentlaboratoriet

Sample Id: Egernsund 1
Lab. Id: 000187
Submitter: Teglværksler
Subject: Egernsund
Date: 11-04-00
Executed: I.Nørgaard
Remarks: Evt. organisk materiale ikke
 nedbrudt før sedigrafanalyse.
 For lidt mat. til sigteana. iflg. DS

Total Weight: 59,76 g

Size Fractions

	Sieve		Weight		Weight %	
	mm	Φ	g	Fraction	Cumulated	
Sedigraph Analysis	<0,00017	<12,50	14,36	24,03	24,03	
	0,00017	12,50	0,72	1,21	25,24	
	0,00024	12,00	0,88	1,48	26,72	
	0,00035	11,50	1,77	2,95	29,67	
	0,00049	11,00	1,56	2,62	32,29	
	0,00069	10,50	1,93	3,22	35,51	
	0,0010	10,00	1,85	3,09	38,60	
	0,0014	9,50	1,73	2,89	41,49	
	0,0020	8,97	1,85	3,09	44,58	
	0,0028	8,48	1,77	2,95	47,53	
	0,0039	8,00	1,77	2,95	50,49	
	0,0055	7,51	1,48	2,48	52,97	
	0,0078	7,00	1,44	2,42	55,39	
	0,0110	6,51	1,44	2,42	57,80	
	0,0156	6,00	1,40	2,35	60,15	
	0,0221	5,50	1,44	2,42	62,57	
Sieve Analysis	0,0312	5,00	1,00	1,68	64,25	
	0,0442	4,50	0,72	1,21	65,46	
	0,063	3,99	3,28	5,49	70,95	
	0,090	3,47	2,97	4,97	75,92	
	0,125	3,00	4,15	6,94	82,86	
	0,180	2,47	2,47	4,13	87,00	
	0,250	2,00	2,65	4,43	91,43	
	0,355	1,49	1,54	2,58	94,01	
	0,500	1,00	1,02	1,71	95,72	
	0,710	0,49	0,88	1,47	97,19	
	1,00	0,00	0,57	0,95	98,14	
	1,40	-0,49	0,57	0,95	99,10	
	2,00	-1,00	0,41	0,69	99,78	
	2,80	-1,49	0,13	0,22	100,00	
	4,00	-2,00	0,00	0,00	100,00	
	8,0	-3,00	0,00	0,00	100,00	
	16,0	-4,00	0,00	0,00	100,00	

Size Classes

(DGF-Bulletin 1)	Weight %
Clay (< 0,002 mm):	41,49
Silt, fine (0,002 mm - 0,006 mm):	9,54
Silt, medium (0,006 mm - 0,020 mm):	8,37
Silt, coarse (0,020 mm - 0,063 mm):	6,06
Sand, fine (0,063 mm - 0,200 mm):	18,59
Sand, medium (0,2 mm - 0,6 mm):	10,78
Sand, coarse (0,6 mm - 2 mm):	4,27
Gravel (> 2 mm):	0,90
Sum:	100,00

Moments Measures

(Folk og Wards)	mm	Φ
5% Percentile	-----	-----
10% Percentile	-----	-----
16% Percentile	-----	-----
25% Percentile	-----	-----
Median (50% Percentile)	0,004	8,071
60% Percentile	0,015	6,030
75% Percentile	0,085	3,556
84% Percentile	0,140	2,835
95% Percentile	0,439	1,187

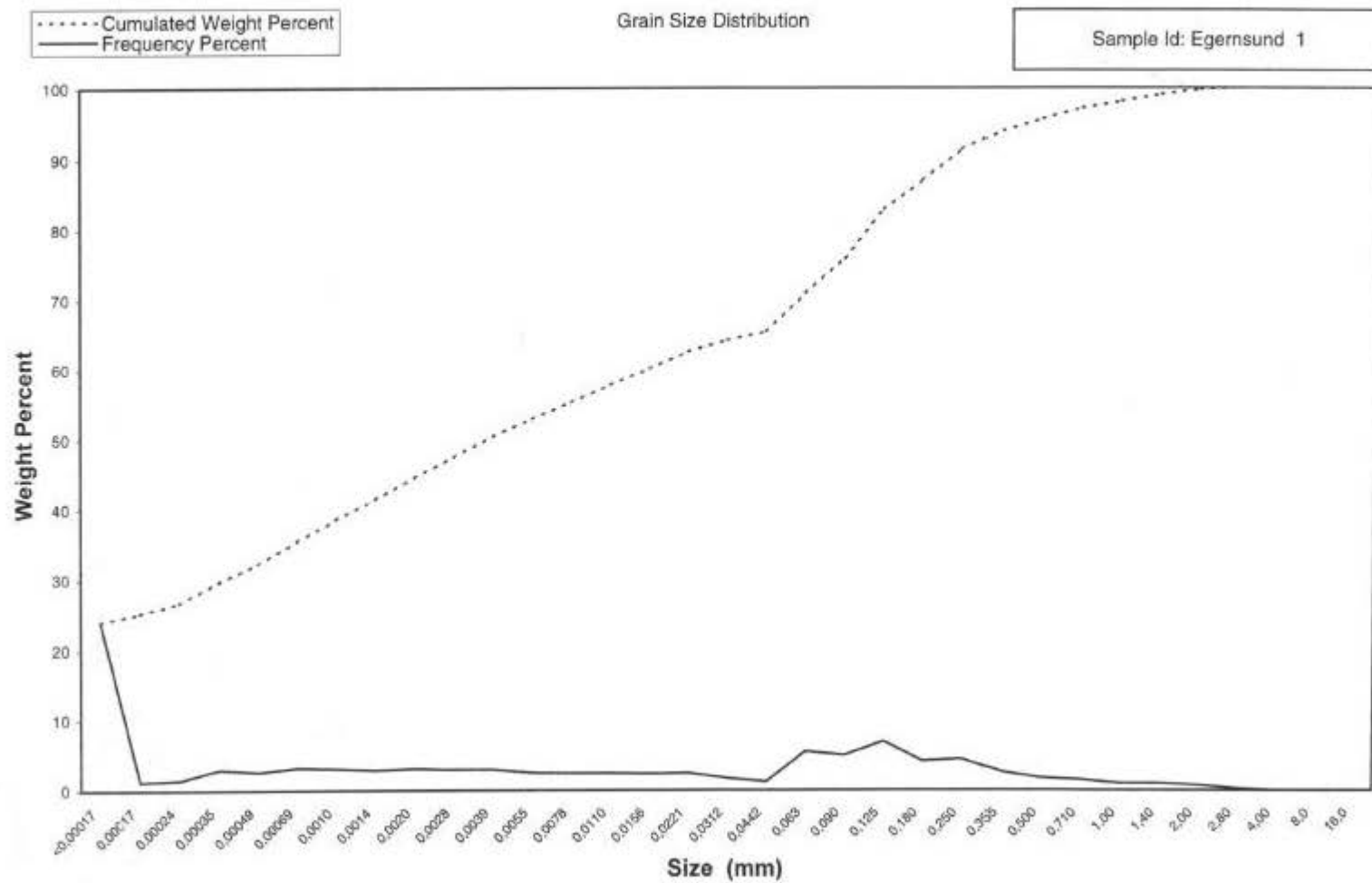
Moments Statistics

Mean	-----
Sorting	-----
Skewness	-----
Kurtosis	-----
Uniformity Coefficient	-----

Size Classes and Percentiles are found
 by linear interpolation

Formulas

Mean $(16\%+84\%+50\%) / 3$
 Sorting $(84\%-16\%)/4 + (95\%-5\%) / 6,6$
 Skewness $(84\%+16\% - 2*50\%) / (2*(84\%-16\%)) + (95\%+5\% - 2*50\%) / (2*(95\%-5\%))$
 Kurtosis $(95\% - 5\%) / (2,44 * (75\% - 25\%))$
 Uniformity Coefficient $(60\% / 10\%)$



Grain Size Distribution

GEUS

Thoravej 8

2400 København NV

Tlf. 38 14 20 00

Sedimentlaboratoriet

Sample Id: Vestjylland 3

Lab. Id: 000188

Submitter: Teglværksler

Subject: Vestjylland

Date: 11-04-00

Executed: I.Nørgaard

Remarks: Evt. organisk materiale ikke nedbrudt for sedigrafanalyse.

Total Weight: 23,37 g

Size Fractions

	Sieve		Weight		Weight %	
	mm	φ	g	Fraction	Cumulated	%
Sedigraph Analysis	<0,00017	<12,50	7,48	32,00	32,00	
	0,00017	12,50	0,69	2,94	34,94	
	0,00024	12,00	0,81	3,48	38,42	
	0,00035	11,50	0,85	3,65	42,07	
	0,00049	11,00	0,85	3,65	45,72	
	0,00069	10,50	1,02	4,37	50,09	
	0,0010	10,00	0,87	3,74	53,84	
	0,0014	9,50	1,12	4,81	58,65	
	0,0020	8,97	1,04	4,46	63,10	
	0,0028	8,48	0,96	4,10	67,20	
	0,0039	8,00	1,15	4,90	72,11	
	0,0055	7,51	1,08	4,63	76,74	
	0,0078	7,00	1,00	4,28	81,02	
	0,0110	6,51	0,81	3,48	84,50	
	0,0156	6,00	0,48	2,05	86,55	
	0,0221	5,50	0,25	1,07	87,62	
Sieve Analysis	0,0312	5,00	0,08	0,36	87,97	
	0,0442	4,50	0,02	0,09	88,06	
	0,063	3,99	0,25	1,07	89,13	
	0,090	3,47	0,33	1,41	90,54	
	0,125	3,00	0,39	1,67	92,21	
	0,180	2,47	0,47	2,01	94,22	
	0,250	2,00	0,44	1,88	96,11	
	0,355	1,49	0,38	1,63	97,73	
	0,500	1,00	0,26	1,11	98,84	
	0,710	0,49	0,10	0,43	99,27	
	1,00	0,00	0,06	0,26	99,53	
	1,40	-0,49	0,08	0,34	99,87	
	2,00	-1,00	0,03	0,13	100,00	
	2,80	-1,49	0,00	0,00	100,00	
	4,00	-2,00	0,00	0,00	100,00	
	8,0	-3,00	0,00	0,00	100,00	
	16,0	-4,00	0,00	0,00	100,00	

Size Classes

(DGF-Bulletin 1)	Weight %
Clay (< 0,002 mm):	58,65
Silt, fine (0,002 mm - 0,006 mm):	14,47
Silt, medium (0,006 mm - 0,020 mm):	12,77
Silt, coarse (0,020 mm - 0,063 mm):	2,18
Sand, fine (0,063 mm - 0,200 mm):	4,73
Sand, medium (0,2 mm - 0,6 mm):	5,48
Sand, coarse (0,6 mm - 2 mm):	1,61
Gravel (> 2 mm):	0,13
Sum:	100,00

Moments Measures

(Folk og Wards)	mm	φ
5% Percentile	-----	-----
10% Percentile	-----	-----
16% Percentile	-----	-----
25% Percentile	-----	-----
Median (50% Percentile)	0,001	10,509
60% Percentile	0,002	9,316
75% Percentile	0,005	7,673
84% Percentile	0,011	6,568
95% Percentile	0,209	2,259

Moments Statistics

Mean	-----
Sorting	-----
Skewness	-----
Kurtosis	-----
Uniformity Coefficient	-----

Size Classes and Percentiles are found by linear interpolation

Formulas

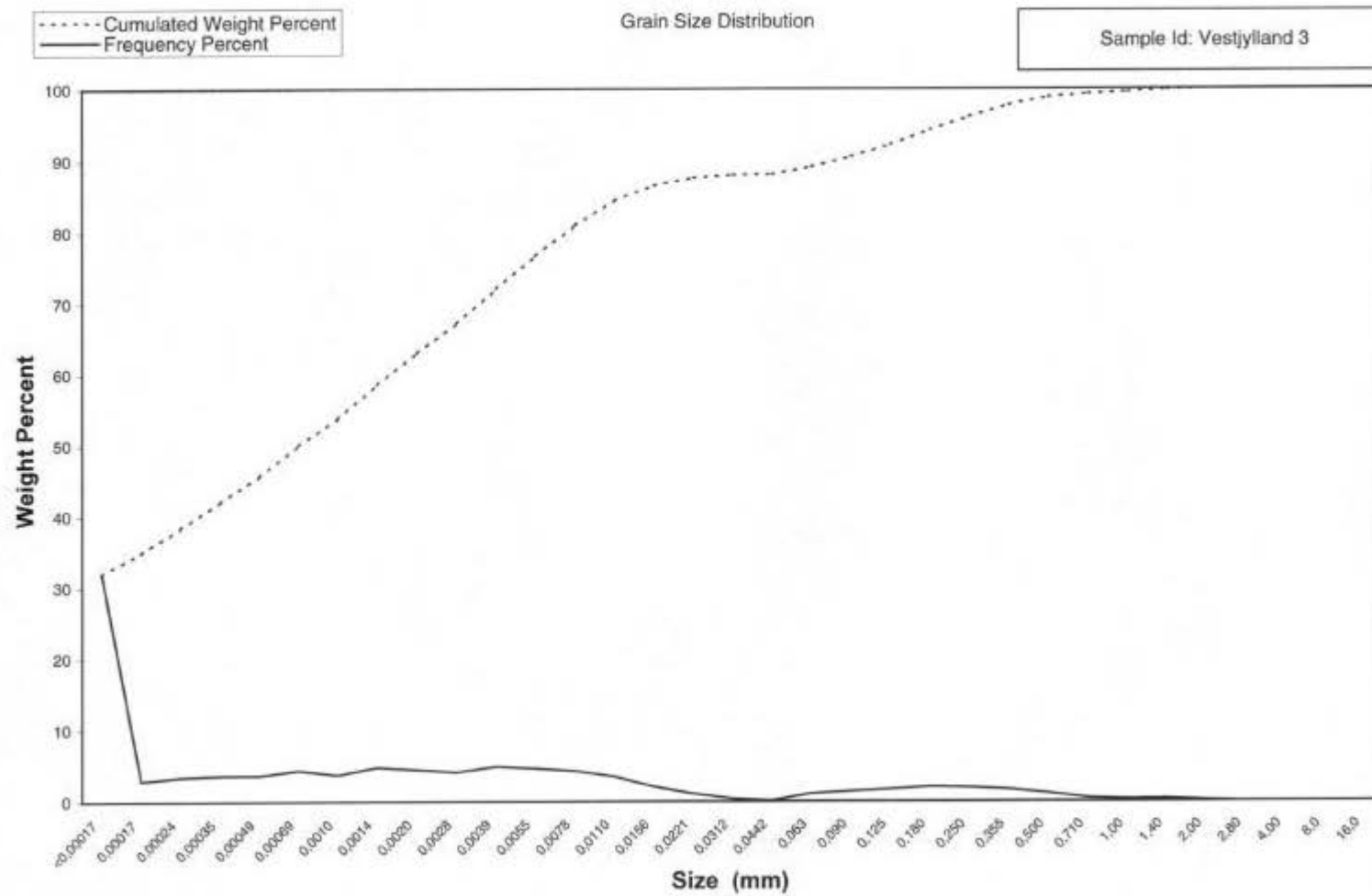
Mean $(16\%+84\%+50\%) / 3$

Sorting $(84\%-16\%)/4 + (95\%-5\%) / 6,6$

Skewness $(84\%+16\% - 2*50\%) / (2*(84\%-16\%)) + (95\%+5\% - 2*50\%) / (2*(95\%-5\%))$

Kurtosis $(95\% - 5\%) / (2,44 * (75\% - 25\%))$

Uniformity Coefficient $(60\% / 10\%)$



Grain Size Distribution

GEUS

Thoravej 8

2400 København NV

Tlf. 38 14 20 00

Sedimentlaboratoriet

Sample Id: Nordsjælland 4

Lab. Id: 000189

Submitter: Teglværksler

Subject: Nordsjælland

Date: 11-04-00

Executed: I.Nørgaard

Remarks: Evt. organisk materiale ikke nedbrudt før sedigrafanalyse.

Total Weight: 48,44 g

Size Fractions

Sieve	Weight	Weight %	
		Fraction	Cumulated
mm	Φ	g	%
<0,00017	<12,50	8,71	17,99
0,00017	12,50	1,41	20,90
0,00024	12,00	1,74	24,50
0,00035	11,50	1,62	27,84
0,00049	11,00	1,62	31,18
0,00069	10,50	1,54	34,35
0,0010	10,00	1,49	37,43
0,0014	9,50	1,78	41,11
0,0020	8,97	2,28	45,82
0,0028	8,48	2,20	50,36
0,0039	8,00	2,45	55,42
0,0055	7,51	2,36	60,30
0,0078	7,00	2,20	64,64
0,0110	6,51	1,95	68,86
0,0156	6,00	2,07	73,15
0,0221	5,50	2,07	77,43
0,0312	5,00	1,54	80,60
0,0442	4,50	1,08	82,82
0,063	3,99	1,99	86,93
0,090	3,47	1,33	89,68
0,125	3,00	1,19	92,13
0,180	2,47	1,20	94,61
0,250	2,00	0,81	96,28
0,355	1,49	0,55	97,42
0,500	1,00	0,42	98,29
0,710	0,49	0,26	98,82
1,00	0,00	0,16	99,15
1,40	-0,49	0,27	99,71
2,00	-1,00	0,14	100,00
2,80	-1,49	0,00	100,00
4,00	-2,00	0,00	100,00
8,0	-3,00	0,00	100,00
16,0	-4,00	0,00	100,00

Size Classes

(DGF-Bulletin 1)	Weight %
Clay (< 0,002 mm):	41,11
Silt, fine (0,002 mm - 0,006 mm):	15,36
Silt, medium (0,006 mm - 0,020 mm):	15,28
Silt, coarse (0,020 mm - 0,063 mm):	11,06
Sand, fine (0,063 mm - 0,200 mm):	10,02
Sand, medium (0,2 mm - 0,6 mm):	4,99
Sand, coarse (0,6 mm - 2 mm):	1,88
Gravel (> 2 mm):	0,29
Sum:	100,00

Moments Measures

(Folk og Wards)	mm	Φ
5% Percentile	-----	-----
10% Percentile	-----	-----
16% Percentile	-----	-----
25% Percentile	0,000	11,913
Median (50% Percentile)	0,003	8,514
60% Percentile	0,005	7,532
75% Percentile	0,018	5,763
84% Percentile	0,050	4,334
95% Percentile	0,196	2,349

Moments Statistics

Mean	-----
Sorting	-----
Skewness	-----
Kurtosis	-----
Uniformity Coefficient	-----

Size Classes and Percentiles are found by linear interpolation

Formulas

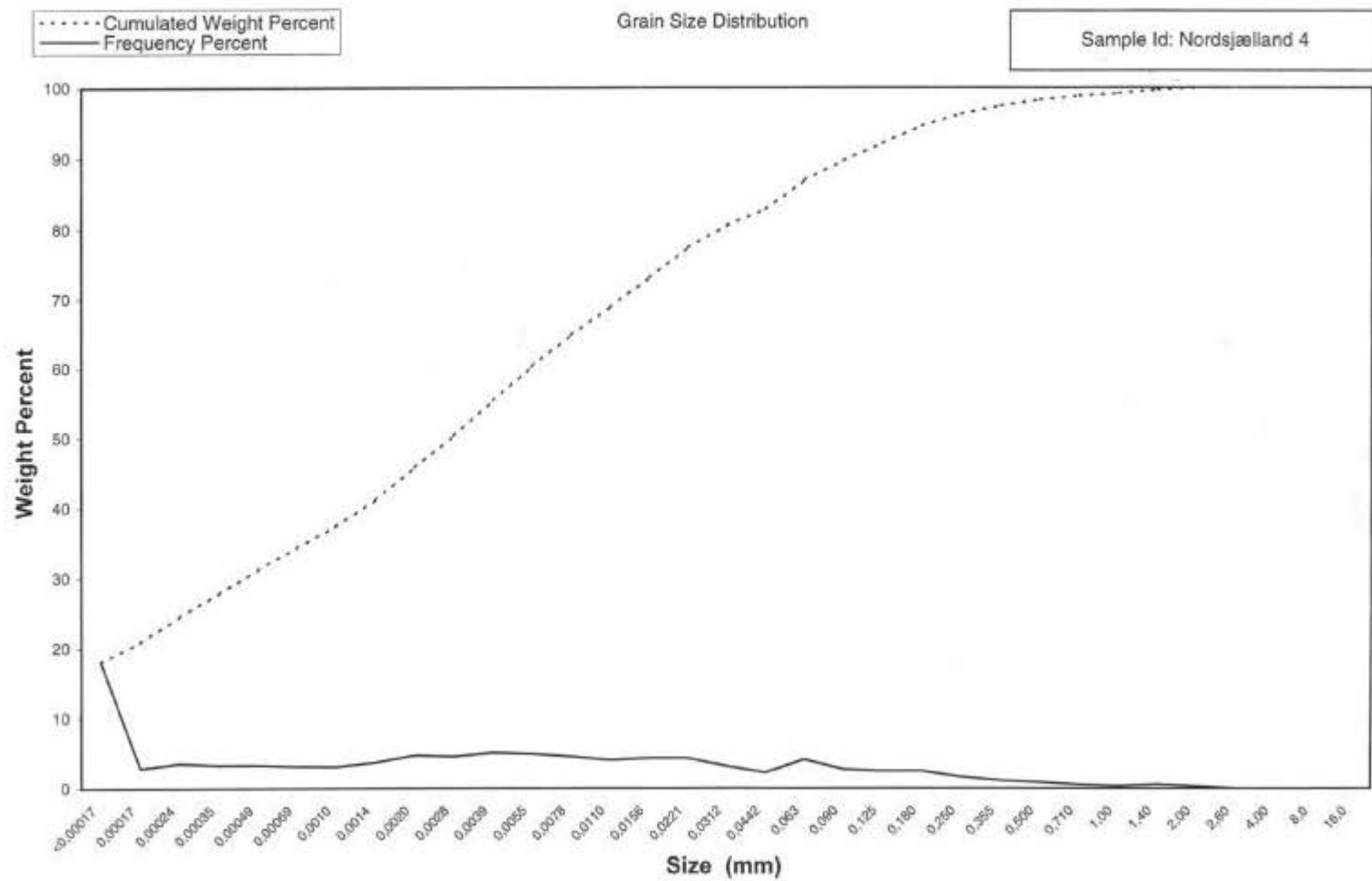
Mean $(16\%+84\%+50\%) / 3$

Sorting $(84\%-16\%)/4 + (95\%-5\%) / 6,6$

Skewness $(84\%+16\% - 2*50\%) / (2*(84\%-16\%)) + (95\%+5\% - 2*50\%) / (2*(95\%-5\%))$

Kurtosis $(95\% - 5\%) / (2,44 * (75\% - 25\%))$

Uniformity Coefficient $(60\% / 10\%)$



Grain Size Distribution

GEUS

Thoravej 8

2400 København NV

Tlf. 38 14 20 00

Sedimentlaboratoriet

Sample Id: Skiveler 5

Lab. Id: 000190

Submitter: Teglværksler

Subject: Skiveler

Date: 11-04-00

Executed: I.Nørgaard

Remarks: Evt. organisk materiale ikke nedbrudt før sedigrafanalyse.

Total Weight: 50,55 g

Size Fractions

	Sieve		Weight		Weight %	
	mm	Φ	g	Fraction	Cumulated	
Sedigraph Analysis	<0,00017	<12,50	13,57	26,85	26,85	
	0,00017	12,50	1,73	3,42	30,27	
	0,00024	12,00	1,88	3,72	33,99	
	0,00035	11,50	2,54	5,03	39,02	
	0,00049	11,00	2,14	4,22	43,24	
	0,00069	10,50	2,19	4,32	47,57	
	0,0010	10,00	1,88	3,72	51,29	
	0,0014	9,50	2,03	4,02	55,31	
	0,0020	8,97	1,73	3,42	58,73	
	0,0028	8,48	1,63	3,22	61,95	
	0,0039	8,00	2,34	4,63	66,57	
	0,0055	7,51	2,34	4,63	71,20	
	0,0078	7,00	2,75	5,43	76,63	
	0,0110	6,51	2,24	4,42	81,05	
	0,0156	6,00	2,90	5,73	86,79	
	0,0221	5,50	3,10	6,13	92,92	
Sieve Analysis	0,0312	5,00	1,63	3,22	96,14	
	0,0442	4,50	0,76	1,51	97,65	
	0,063	3,99	0,90	1,78	99,43	
	0,090	3,47	0,11	0,22	99,64	
	0,125	3,00	0,06	0,12	99,76	
	0,180	2,47	0,05	0,10	99,86	
	0,250	2,00	0,03	0,06	99,92	
	0,355	1,49	0,02	0,04	99,96	
	0,500	1,00	0,01	0,02	99,98	
	0,710	0,49	0,01	0,02	100,00	
	1,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
	1,40	-0,49	0,00	0,00	100,00	
	2,00	-1,00	0,00	0,00	100,00	
	2,80	-1,49	0,00	0,00	100,00	
	4,00	-2,00	0,00	0,00	100,00	
	8,0	-3,00	0,00	0,00	100,00	
	16,0	-4,00	0,00	0,00	100,00	

Size Classes

(DGF-Bulletin 1)	Weight %
Clay (< 0,002 mm):	55,31
Silt, fine (0,002 mm - 0,006 mm):	12,27
Silt, medium (0,006 mm - 0,020 mm):	17,36
Silt, coarse (0,020 mm - 0,063 mm):	12,71
Sand, fine (0,063 mm - 0,200 mm):	2,14
Sand, medium (0,2 mm - 0,6 mm):	0,18
Sand, coarse (0,6 mm - 2 mm):	0,03
Gravel (> 2 mm):	0,00
Sum:	100,00

Moments Measures

(Folk og Wards)	mm	Φ
5% Percentile	-----	-----
10% Percentile	-----	-----
16% Percentile	-----	-----
25% Percentile	-----	-----
Median (50% Percentile)	0,001	10,154
60% Percentile	0,002	8,754
75% Percentile	0,007	7,136
84% Percentile	0,013	6,225
95% Percentile	0,028	5,159

Moments Statistics

Mean	-----
Sorting	-----
Skewness	-----
Kurtosis	-----
Uniformity Coefficient	-----

Size Classes and Percentiles are found by linear interpolation

Formulas

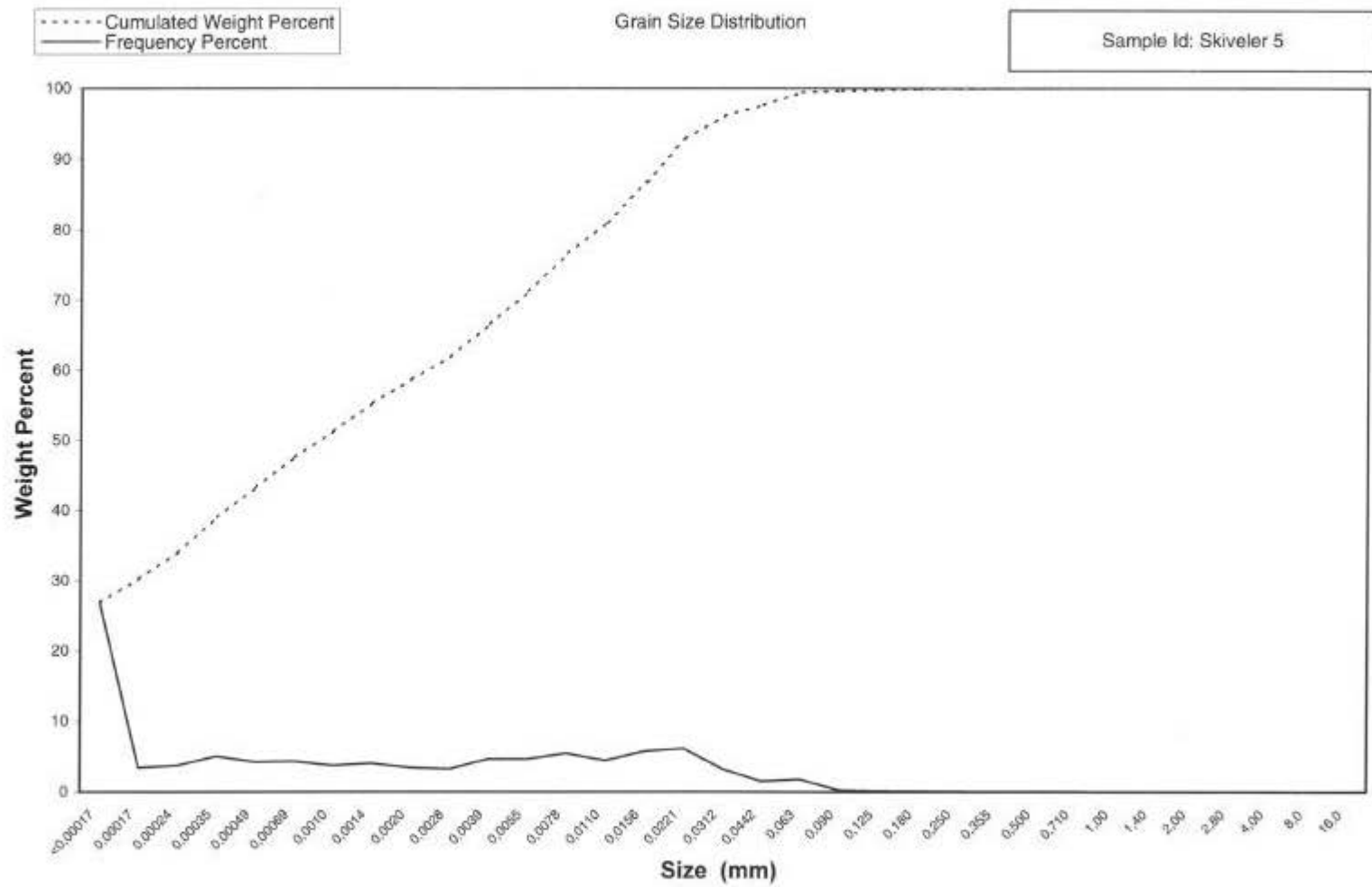
Mean (16%+84%+50%) / 3

Sorting (84%-16%)/4 + (95%-5%) / 6,6

Skewness (84%+16% - 2*50%) / (2*(84%-16%)) + (95%+5% - 2*50%) / (2*(95%-5%))

Kurtosis (95% - 5%) / (2,44 * (75% - 25%))

Uniformity Coefficient (60% / 10%)



Grain Size Distribution

GEUS

Thoravej 8

2400 København NV

Tlf. 38 14 20 00

Sedimentlaboratoriet

Sample Id: Thy 6

Lab. Id: 000191

Submitter: Teglværksler

Subject: Thy

Date: 11-04-00

Executed: I. Nørgaard

Remarks: Evt. organisk materiale ikke nedbrudt for sedigrafanalyse.

Total Weight: 84,64 g

Size Fractions

Sieve	mm	Φ	Weight g	Weight %	
				Fraction %	Cumulated %
<0,00017	<12,50		14,61	17,26	17,26
0,00017	12,50		1,29	1,53	18,79
0,00024	12,00		1,09	1,29	20,08
0,00035	11,50		1,59	1,88	21,96
0,00049	11,00		1,69	2,00	23,95
0,00069	10,50		2,09	2,47	26,42
0,0010	10,00		1,64	1,94	28,36
0,0014	9,50		1,79	2,11	30,47
0,0020	8,97		2,14	2,52	32,99
0,0028	8,48		2,48	2,94	35,93
0,0039	8,00		2,63	3,11	39,04
0,0055	7,51		2,48	2,94	41,98
0,0078	7,00		2,34	2,76	44,73
0,0110	6,51		1,89	2,23	46,97
0,0156	6,00		2,04	2,41	49,37
0,0221	5,50		2,43	2,88	52,25
0,0312	5,00		2,39	2,82	55,07
0,0442	4,50		1,39	1,64	56,71
0,063	3,99		4,17	4,93	61,64
0,090	3,47		3,90	4,61	66,25
0,125	3,00		5,51	6,51	72,76
0,180	2,47		5,34	6,31	79,06
0,250	2,00		6,65	7,86	86,92
0,355	1,49		3,65	4,31	91,23
0,500	1,00		2,80	3,31	94,54
0,710	0,49		1,34	1,58	96,12
1,00	0,00		1,02	1,21	97,33
1,40	-0,49		1,13	1,34	98,66
2,00	-1,00		0,65	0,77	99,43
2,80	-1,49		0,48	0,57	100,00
4,00	-2,00		0,00	0,00	100,00
6,0	-3,00		0,00	0,00	100,00
16,0	-4,00		0,00	0,00	100,00

Size Classes

(DGF-Bulletin 1)	Weight %
Clay (< 0,002 mm):	30,47
Silt, fine (0,002 mm - 0,006 mm):	9,21
Silt, medium (0,006 mm - 0,020 mm):	8,92
Silt, coarse (0,020 mm - 0,063 mm):	8,12
Sand, fine (0,063 mm - 0,200 mm):	17,85
Sand, medium (0,2 mm - 0,6 mm):	18,25
Sand, coarse (0,6 mm - 2 mm):	5,86
Gravel (> 2 mm):	1,34
Sum:	100,00

Moments Measures

(Folk og Wards)	mm	Φ
5% Percentile	-----	-----
10% Percentile	-----	-----
16% Percentile	-----	-----
25% Percentile	0,001	10,786
Median (50% Percentile)	0,017	5,877
60% Percentile	0,057	4,139
75% Percentile	0,145	2,790
84% Percentile	0,224	2,159
95% Percentile	0,561	0,834

Moments Statistics

Mean	-----
Sorting	-----
Skewness	-----
Kurtosis	-----
Uniformity Coefficient	-----

Size Classes and Percentiles are found by linear interpolation

Formulas

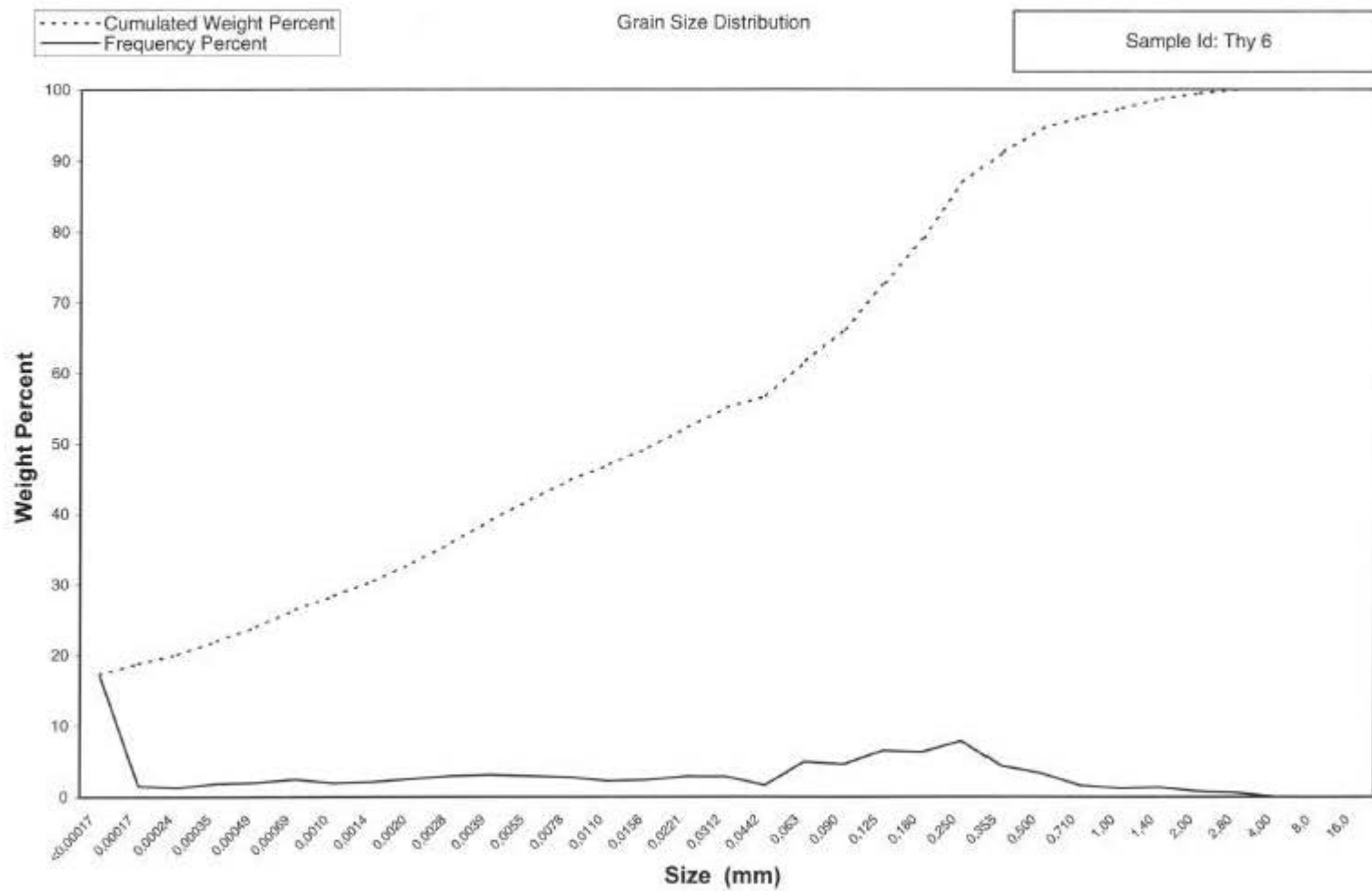
Mean $(16\%+84\%+50\%) / 3$

Sorting $(84\%-16\%)/4 + (95\%-5\%) / 6,6$

Skewness $(84\%+16\% - 2*50\%) / (2*(84\%-16\%)) + (95\%+5\% - 2*50\%) / (2*(95\%-5\%))$

Kurtosis $(95\% - 5\%) / (2,44 * (75\% - 25\%))$

Uniformity Coefficient $(60\% / 10\%)$



Grain Size Distribution

GEUS

Thoravej 8

2400 København NV

Tlf. 38 14 20 00

Sedimentlaboratoriet

Sample Id: Fyn 7

Lab. Id: 000197

Submitter: Teglværksler

Subject: Fyn

Date: 11-04-00

Executed: I.Nørgaard

Remarks: Evt. organisk materiale ikke nedbrudt før sedigrafanalyse.

Total Weight: 32,41 g

Size Fractions

	Sieve		Weight		Weight %	
	mm	Φ	g	Fraction %	Cumulated %	
Sedigraph Analysis	<0,00017	<12,50	9,09	28,04	28,04	
	0,00017	12,50	1,33	4,10	32,14	
	0,00024	12,00	1,83	5,64	37,78	
	0,00035	11,50	1,30	4,01	41,79	
	0,00049	11,00	1,21	3,73	45,52	
	0,00069	10,50	1,27	3,91	49,43	
	0,0010	10,00	1,24	3,82	53,26	
	0,0014	9,50	1,39	4,28	57,54	
	0,0020	8,97	1,45	4,46	62,00	
	0,0028	8,48	1,68	5,19	67,19	
	0,0039	8,00	1,83	5,64	72,83	
	0,0055	7,51	1,56	4,83	77,66	
	0,0078	7,00	1,15	3,55	81,21	
	0,0110	6,51	0,83	2,55	83,76	
	0,0156	6,00	0,47	1,46	85,21	
	0,0221	5,50	0,62	1,91	87,12	
Sieve Analysis	0,0312	5,00	0,30	0,91	88,03	
	0,0442	4,50	0,12	0,36	88,40	
	0,063	3,99	0,33	1,02	89,42	
	0,090	3,47	0,41	1,27	90,68	
	0,125	3,00	0,58	1,79	92,47	
	0,180	2,47	0,91	2,81	95,28	
	0,250	2,00	0,65	2,01	97,28	
	0,355	1,49	0,39	1,20	98,49	
	0,500	1,00	0,24	0,74	99,23	
	0,710	0,49	0,13	0,40	99,63	
	1,00	0,00	0,08	0,25	99,88	
	1,40	-0,49	0,02	0,06	99,94	
	2,00	-1,00	0,02	0,06	100,00	
	2,80	-1,49	0,00	0,00	100,00	
	4,00	-2,00	0,00	0,00	100,00	
	8,0	-3,00	0,00	0,00	100,00	
	16,0	-4,00	0,00	0,00	100,00	

Size Classes

(DGF-Bulletin 1)		Weight %
Clay	(< 0,002 mm):	57,54
Silt, fine	(0,002 mm - 0,006 mm):	16,34
Silt, medium	(0,006 mm - 0,020 mm):	10,86
Silt, coarse	(0,020 mm - 0,063 mm):	3,66
Sand, fine	(0,063 mm - 0,200 mm):	4,88
Sand, medium	(0,2 mm - 0,6 mm):	5,57
Sand, coarse	(0,6 mm - 2 mm):	1,10
Gravel	(> 2 mm):	0,06
Sum:		100,00

Moments Measures

(Folk og Wards)	mm	Φ
5% Percentile	-----	-----
10% Percentile	-----	-----
16% Percentile	-----	-----
25% Percentile	-----	-----
Median (50% Percentile)	0,001	10,414
60% Percentile	0,002	9,181
75% Percentile	0,005	7,758
84% Percentile	0,012	6,409
95% Percentile	0,175	2,516

Moments Statistics

Mean	-----
Sorting	-----
Skewness	-----
Kurtosis	-----
Uniformity Coefficient	-----

Size Classes and Percentiles are found by linear interpolation

Formulas

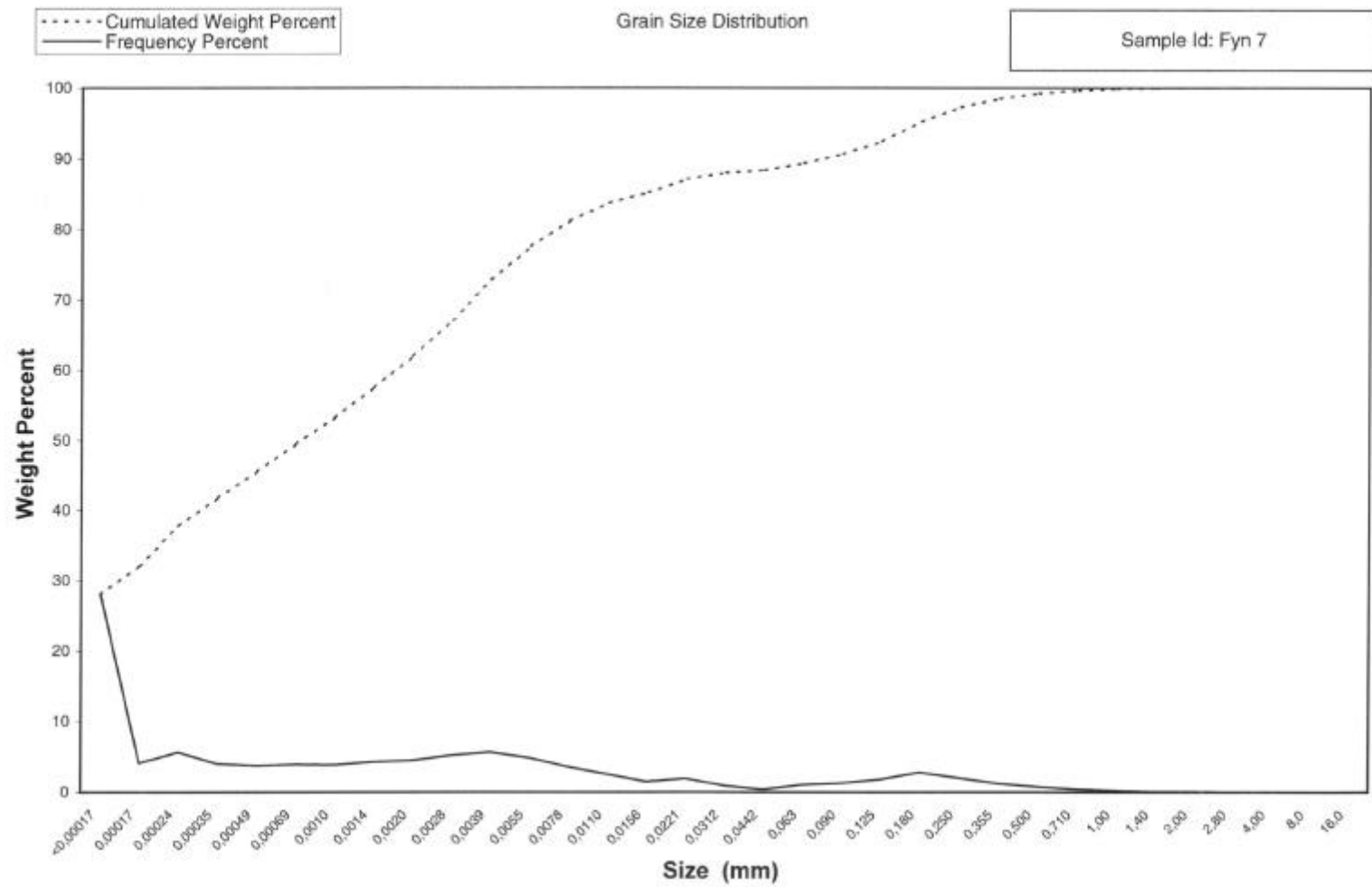
Mean $(16\%+84\%+50\%) / 3$

Sorting $(84\%-16\%)/4 + (95\%-5\%) / 6,6$

Skewness $(84\%+16\% - 2*50\%) / (2*(84\%-16\%)) + (95\%+5\% - 2*50\%) / (2*(95\%-5\%))$

Kurtosis $(95\% - 5\%) / (2,44 * (75\% - 25\%))$

Uniformity Coefficient $(60\% / 10\%)$



Bilag 6

Kemiske analyser af flyveaske. Data fra Danaske I/S.

Telefax 38 19 2050
 FN Christian Knudsen
 Fra Lars M. Andersen
 Dato 12-5-00 Antal sider: 2
 ADRIAN BLANKT.DWG

7511-7

Resultater

Komponent	Prøve mærket	
	Hal 1	Hal 2
α -kvarts, % af respirabel fraktion	$2,4 \pm 0,5$	$3,8 \pm 0,8$
chrom(VI), mg/kg	$0,42 \pm 0,06$	$0,38 \pm 0,06$
total chrom, mg/kg	28 ± 4	43 ± 6
nikkel, mg/kg	16 ± 2	27 ± 4
cobalt, mg/kg	$4,7 \pm 0,7$	$6,1 \pm 0,9$
beryllium, mg/kg	$3,5 \pm 0,5$	$3,8 \pm 0,6$
arsen, mg/kg	41 ± 6	43 ± 6
bly, mg/kg	18 ± 3	19 ± 3
vanadium, mg/kg	140 ± 20	160 ± 20
kviksølv, mg/kg	$0,13 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,02$
cadmium, mg/kg	$< 0,3$	$< 0,4$
pH	12,0	11,9
PAH, mg/kg	(1)	(1)

< betyder "mindre end"

- Der er ikke konstateret polyaromatiske kulbrinter i de 2 prøver. Detektionsgrænsen er 0,04 mg/kg - 0,2 mg/kg for specifikke PAH.

MILJØ-KEMI står naturligvis til rådighed for yderligere oplysninger vedrørende resultat og resultatvurdering.

Med venlig hilsen

MILJØ-KEMI Dansk Miljø Center A/S

Jørn Marcussen
 cand. scient.

Kurt Egmose
 cand. scient.

Dato	Prøve- nummer	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	Mgo	SO3	K2O total	Na2O	Na2O ækv.	SIM	ALM	gløde- tab
		%	%	%	%	%	%	%	%	%			%
20000331	0430984	51,71	29,76	4,53	4,41	1,47	0,24	0,75	0,25	0,74	1,51	6,57	4,55
20000305	0427153	52,18	29,90	4,36	4,20	1,37	0,31	0,68	0,15	0,60	1,52	6,86	4,29
20000226	0425195	51,69	27,28	5,21	3,94	1,49	0,31	1,15	0,34	1,10	1,59	5,24	5,62
20000223	0423827	52,15	23,74	6,26	3,54	1,58	0,36	1,71	0,72	1,85	1,74	3,79	9,18
20000211	0422526	52,27	21,67	7,40	3,65	1,71	0,34	2,08	1,05	2,42	1,80	2,93	8,05
20000209	0421633	52,47	22,32	7,17	3,63	1,74	0,27	2,13	0,87	2,27	1,78	3,11	8,14
20000202	0420062	51,62	21,75	7,47	3,71	1,74	0,33	2,03	0,84	2,18	1,77	2,91	9,11
20000124	0419037	52,14	21,48	7,60	3,94	1,83	0,31	2,03	0,89	2,23	1,79	2,83	8,49
20000117	0417600	53,91	21,86	6,40	3,83	1,88	0,29	2,22	1,08	2,54	1,91	3,42	6,98
20000110	0416230	55,70	21,74	7,08	3,75	1,88	5,06	2,21	0,96	2,41	1,93	3,07	5,06
19991231	0414580	59,53	20,73	7,19	3,30	1,90	0,43	2,00	0,69	2,01	2,13	2,68	3,52
19991223	0413901	57,58	21,95	6,77	3,61	1,89	0,40	1,84	0,56	1,77	2,00	3,24	4,13
19991220	0412153	60,29	20,73	7,28	2,45	1,48	0,34	2,21	0,32	1,77	2,15	2,85	3,37
19991220	0411455	58,33	20,90	7,14	3,19	1,58	0,29	2,28	0,45	1,95	2,08	2,93	3,78
19991205	0409330	56,31	23,17	6,05	3,62	1,62	0,39	1,62	0,14	1,21	1,93	3,83	4,64
19991205	0409322												
19991128	0408095	57,42	22,58	6,25	3,35	1,75	0,42	1,60	-0,05	1,00	1,99	3,61	4,23
19991117	0406657	57,74	23,96	6,16	2,71	1,31	3,58	1,39	-0,03	0,88	1,92	3,89	3,53
19991112	0405872	57,01	24,29	5,85	3,09	1,43	0,38	1,28	-0,09	0,75	1,89	4,15	3,64
19991105	0404080	55,87	26,12	5,84	3,34	1,36	0,39	0,98	-0,08	0,56	1,75	4,47	3,73
19991101	0402473	57,67	24,24	5,83	2,34	0,91	0,47	1,16	0,04	0,80	1,92	4,16	4,62
19991026	0401349	57,79	26,18	5,46	2,34	0,90	0,34	0,97	-0,19	0,45	1,83	4,79	4,22
19991013	0400089	57,76	27,76	5,10	2,87	0,97	0,28	0,72	0,15	0,62	1,76	5,44	2,87
19991008	0398659	57,36	26,61	5,22	2,89	1,13	0,31	1,04	0,02	0,70	1,80	5,10	3,00
19991004	0397324	58,50	23,40	6,43	3,24	1,39	0,30	1,56	0,20	1,23	1,96	3,64	2,78
19990924	0395713	57,64	24,11	5,89	3,86	1,38	0,36	1,45	0,28	1,23	1,92	4,09	2,67
19990922	0394164	53,52	25,41	5,50	5,14	1,51	0,44	1,07	0,26	0,96	1,73	4,62	3,20
19990910	0392640	53,10	25,97	5,31	6,11	2,14	0,55	0,99	0,11	0,76	1,70	4,89	2,29
19990908	0390990	53,82	24,72	6,13	4,51	1,50	0,59	1,33	0,19	1,07	1,74	4,03	4,88
19990901	0389577	55,29	23,28	6,08	4,50	1,59	0,40	1,37	0,26	1,16	1,88	3,83	4,21
19990824	0387869	56,93	25,15	6,05	4,76	1,92	0,44	1,36	0,11	1,00	1,82	4,16	2,04
19990812	0386554	57,15	24,92	6,35	3,49	1,40	0,37	1,53	0,17	1,18	1,83	3,92	2,91
19990808	0385310	56,74	24,93	6,73	2,82	1,06	0,33	1,42	0,15	1,08	1,79	3,70	3,34
ANT. PRØVER		32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
MIDDEL TAL		55,60	24,14	6,19	3,63	1,53	0,61	1,51	0,34	1,33	1,84	4,03	4,60
STD. AFVIG.		2,62	2,45	0,85	0,82	0,31	0,99	0,49	0,36	0,64	0,15	1,02	2,02
VAR. KOEFF.		4,72	10,15	13,67	22,55	20,28	162,02	32,23	107,27	48,13	8,18	25,26	43,83

Vare : FLDASV Udt.sted : Kunde : T: M A: R Alle Periode :
 PLA 200 *HAA,CBL* Aalborg Portland A/S FLYVEASKE CEMENT

Antal : 33
 6/04/00 01:11 1

Asnæsværket

Dato	Prøve- nummer	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O total	Na2O	Na2O ekv.	SIM	ALM	glæde- tab
		%	%	%	%	%	%	%	%	%			%
20000330	0429626	53,71	23,82	6,04	3,93	1,71	0,68	1,75	0,61	1,76	1,80	3,94	6,49
19990301	0352540	56,44	22,00	6,40	4,08	1,67	0,55	1,53	0,60	1,61	1,99	3,44	4,70
19990222	0350097	56,62	22,51	6,45	4,14	1,73	0,61	1,59	0,38	1,43	1,96	3,49	4,03
19990215	0348956	56,73	22,24	6,40	4,11	1,67	0,48	1,59	0,37	1,42	1,98	3,48	3,62
19990207	0347600	55,00	22,94	6,22	4,18	1,74	0,46	1,63	0,60	1,67	1,89	3,69	4,05
19990201	0345869	57,33	22,38	6,54	2,51	1,50	4,52	1,73	0,58	1,72	1,98	3,42	4,93
19990125	0344147	58,77	22,21	6,38	2,76	1,35	0,43	1,52	0,42	1,42	2,06	3,48	4,28
19990118	0343597	55,99	21,50	6,28	3,30	1,47	0,50	1,59	0,34	1,39	2,02	3,42	6,48
19990108	0341544	56,00	24,01	5,88	4,21	1,50	0,42	1,35	0,36	1,25	1,87	4,08	4,12
19981221	0337962	55,58	24,13	5,83	4,25	1,51	0,44	1,35	0,30	1,19	1,86	4,14	4,31
19981214	0335711	55,56	23,13	6,12	4,04	1,53	0,50	1,50	0,32	1,31	1,90	3,78	5,11
19981207	0333890	54,03	24,75	5,72	5,07	1,59	0,45	1,29	0,41	1,26	1,77	4,33	4,25
19981130	0332552	52,20	26,20	5,17	5,70	1,65	0,58	1,16	0,67	1,43	1,66	5,07	4,08
19981125	0330823	54,41	25,16	5,82	5,42	1,70	0,56	1,35	0,43	1,32	1,76	4,32	3,27
19981116	0330208	52,82	24,90	5,56	5,65	1,69	0,52	1,33	0,88	1,76	1,73	4,48	3,92
19981109	0327110	52,86	25,14	5,75	5,33	1,74	0,63	1,35	0,52	1,41	1,71	4,37	4,12
19981102	0325513	55,04	23,03	6,05	4,79	1,62	0,56	1,43	0,53	1,47	1,89	3,81	4,48
19981024	0323055	54,34	24,65	5,99	4,61	1,78	0,55	1,58	0,81	1,85	1,77	4,12	3,90
19981012	0320982	55,42	24,11	5,89	4,82	1,68	0,46	1,48	0,89	1,86	1,85	4,09	4,05
19981005	0317917	55,89	23,93	6,07	4,26	1,67	0,62	1,61	0,43	1,49	1,86	3,94	3,87
19980928	0316103	55,70	23,05	6,38	4,15	1,65	0,52	1,61	0,46	1,52	1,89	3,61	4,74
19980817	0305515	58,45	18,83	7,28	2,05	1,52	0,63	2,11			2,24	2,59	7,84
19980811	0303683	55,28	21,82	6,53	4,14	1,64	0,55	1,70			1,95	3,34	5,39
19980810	0289311	51,74	24,12	6,18	6,16	1,81	0,58	1,44			1,71	3,90	4,17
19980807	0302723	53,92	23,71	6,28	5,22	1,80	0,53	1,51			1,80	3,78	3,93
19980728	0301243	53,60	23,61	6,28	5,10	1,83	0,56	1,58			1,79	3,76	4,03
19980720	0299125	53,79	23,74	5,97	5,28	1,85	0,49	1,43			1,81	3,98	4,77
19980714	0297204	52,95	24,85	6,00	5,72	1,88	0,55	1,40			1,72	4,14	3,23
19980706	0295135	52,11	24,62	5,81	5,81	1,87	0,53	1,31			1,71	4,24	4,23
19980703	0294333	52,85	23,81	6,10	5,41	1,75	0,47	1,47			1,77	3,90	5,00
19980622	0292486	52,07	24,06	6,21	6,20	1,95	0,53	1,41			1,72	3,87	4,50
19980610	0292488	53,22	22,52	6,44	5,41	1,79	0,49	1,57			1,84	3,50	5,49
19980601	0288865	53,73	22,52	6,44	5,02	1,74	0,48	1,61			1,86	3,50	5,46
ANT. PRØVER	33	33	33	33	33	33	33	33	21	21	33	33	33
MIDDEL TAL	54,67	23,45	6,14	4,63	1,68	0,65	1,51	0,52	0,18	1,50	1,85	3,85	4,57
STD. AFVIG.	1,82	1,39	0,37	1,00	0,14	0,70	0,17	0,17	0,18	0,20	0,12	0,44	0,96
VAR. KOEFF.	3,33	5,93	6,01	21,61	8,01	107,44	11,51	34,11	13,36	6,68	11,52	21,01	

Vare : PLDSTV Udt.sted : Kunde : T: M A: R Alle Periode :
 PLA 200 *HAR,CBL* Aalborg Portland A/S FLYVEASKE CEMENT

Artal : 33
 6/04/00 01:11 1

Stignæsværket

Dato	Prove- nummer	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O total	Na2O	Na2O ekv.	SIM	ALM	gløde- tab
		%	%	%	%	%	%	%	%	%			%
20000327	0429098	54,42	24,56	5,60	5,31	1,79	0,69	1,57	0,46	1,49	1,80	4,39	3,70
20000317	0428329	48,71	27,18	5,13	6,66	1,80	0,76	0,93	0,26	0,87	1,51	5,30	3,54
20000310	0427322	50,76	27,38	5,40	6,61	1,72	0,86	0,82	0,20	0,74	1,55	5,07	3,30
20000306	0426178	50,66	27,70	4,76	6,81	1,83	0,88	0,77	0,28	0,79	1,56	5,82	2,86
20000226	0424971	50,80	28,82	4,02	7,45	1,95	0,83	0,67	0,17	0,61	1,55	7,17	2,17
20000223	0423639	52,26	27,28	4,60	7,00	1,92	0,89	0,85	0,30	0,86	1,64	5,93	2,48
20000211	0422472	52,67	27,03	4,62	6,36	1,84	0,94	0,88	0,26	0,84	1,66	5,85	2,42
20000206	0421294	49,43	29,56	3,65	7,88	2,09	0,80	0,65	0,16	0,59	1,49	8,10	1,82
20000123	0418694	50,00	31,05	3,58	8,56	2,25	0,73	0,57	0,14	0,52	1,44	8,67	1,53
20000114	0417226	56,01	24,40	5,63	4,72	1,77	0,66	1,57	0,32	1,35	1,87	4,33	3,02
20000108	0415529	49,47	30,38	3,72	7,33	1,82	0,53	0,56	0,12	0,49	1,45	8,17	2,31
19991228	0413939	49,44	29,83	4,06	7,62	1,91	0,56	0,59	0,26	0,65	1,46	7,35	2,49
19991219	0411659	54,36	23,58	6,40	5,64	1,47	0,69	1,42	0,03	0,96	1,81	3,68	3,68
19991213	0410294	55,15	22,91	6,27	4,65	1,49	0,78	1,62	0,07	1,14	1,89	3,65	3,95
19991206	0408907	57,94	21,71	6,73	3,96	1,48	0,83	1,74	0,20	1,34	2,04	3,23	3,22
19991123	0406548	51,61	25,47	5,54	5,82	1,47	0,63	1,23	-0,07	0,74	1,66	4,60	4,25
19991112	0405253	51,72	25,43	5,75	5,93	1,47	0,64	1,20	-0,10	0,69	1,66	4,42	3,96
19991103	0403758	53,47	25,98	5,44	5,34	1,38	0,64	1,33	-0,06	0,82	1,70	4,78	3,61
19991029	0402208	53,31	26,40	5,14	5,27	1,32	0,61	1,29	0,00	0,85	1,69	5,14	3,59
19991024	0400991	53,57	26,05	5,24	5,31	1,40	0,59	1,33	0,26	1,14	1,71	4,97	3,13
19991013	0399868	54,09	26,48	5,12	5,30	1,28	0,58	1,27	0,31	1,15	1,71	5,17	2,97
19991007	0398458	53,95	25,72	5,31	5,42	1,40	0,59	1,35	0,19	1,08	1,74	4,84	3,41
19991003	0397110	54,07	26,41	5,19	5,12	1,38	0,57	1,29	0,14	0,99	1,71	5,09	3,44
19990924	0395434	52,82	26,95	4,93	5,60	1,43	0,55	1,23	0,23	1,04	1,66	5,47	3,14
19990915	0393946	53,07	26,57	5,07	5,87	1,49	0,58	1,24	0,21	1,03	1,68	5,24	2,60
19990910	0392622	54,29	25,53	5,28	5,49	1,60	0,63	1,24	0,21	1,03	1,76	4,84	2,89
19990908	0390957	51,42	26,24	4,76	6,44	1,76	0,71	1,10	0,06	0,78	1,66	5,51	3,13
19990829	0389320	47,28	29,20	3,38	8,53	1,98	0,66	0,59	-0,12	0,27	1,45	8,64	2,09
19990819	0387637	47,29	29,27	3,50	8,79	2,01	0,63	0,58	-0,09	0,29	1,44	8,36	2,59
19990813	0386360	47,09	29,05	3,54	9,12	2,05	0,64	0,60	-0,12	0,27	1,44	8,21	2,86
19990806	0386359	54,66	24,55	5,40	5,61	1,70	0,63	1,53	0,20	1,21	1,83	4,55	3,08
19990620	0373746	58,29	22,63	6,00	3,19	1,40	0,45	1,65	0,28	1,37	2,04	3,77	3,98
19990614	0372168	54,02	29,00	3,66	5,68	1,74	0,40	0,58	0,29	0,67	1,65	7,92	1,85
ANT. PRØVER		33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
MIDDELTAL		52,37	26,68	4,92	6,19	1,68	0,67	1,09	0,15	0,87	1,66	5,70	3,00
STD. AFVIG.		2,82	2,29	0,91	1,39	0,26	0,13	0,38	0,15	0,32	0,16	1,61	0,68
VAR. KOEFF.		5,38	8,58	18,44	22,50	15,42	18,89	35,12	97,25	36,49	9,75	28,26	22,80

Vare : PLDSHE Udt.sted : Kunde : T: M A: R Alle
 FLA 200 *HAA,CRI* Aalborg Portland A/S FLYVEASKE CEMENT

Periode :

Antal : 33
 6/04/00 01:11 1

Enstedværket

Dato	Prøve- nummer	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	SO3 %	K2O total %	Na2O %	Na2O ekv. %	SIM	ALM	gløde- tab %
20000403	0430988	51,69	27,39	4,94	4,76	1,59	0,65	1,14	0,27	1,02	1,60	5,54	5,34
20000327	0429281	51,92	25,61	5,48	4,18	1,64	0,71	1,28	0,48	1,32	1,66	4,71	6,09
20000320	0428189	52,79	27,65	5,18	4,24	1,45	0,49	0,96	0,37	1,00	1,60	5,38	4,13
20000313	0427422	52,62	25,53	5,60	4,29	1,63	0,50	1,25	0,38	1,20	1,69	4,56	5,59
20000306	0426346	51,34	29,40	4,20	5,42	1,38	0,45	0,65	0,19	0,62	1,53	7,00	3,85
20000228	0425207	51,92	26,57	5,14	5,28	1,68	0,56	1,30	0,40	1,19	1,64	5,17	4,14
20000221	0423821	52,81	25,82	5,79	4,99	1,77	0,57	1,37	0,49	1,39	1,67	4,46	4,49
20000214	0422544	52,09	27,63	4,64	6,01	1,84	0,87	0,92	0,29	0,90	1,61	5,95	3,11
20000207	0421465	53,53	27,52	4,85	5,64	1,70	0,57	0,90	0,21	0,80	1,65	5,67	2,67
20000202	0420167	53,51	26,77	5,45	4,39	1,51	0,47	1,23	0,53	1,34	1,66	4,91	4,31
20000124	0419035	54,27	27,10	5,44	3,71	1,37	0,43	1,18	0,37	1,15	1,67	4,98	4,54
20000117	0417582	53,35	26,75	5,54	4,48	1,49	0,55	1,16	0,31	1,07	1,65	4,83	4,68
20000110	0416228	52,57	30,28	4,51	5,02	1,30	0,49	0,60	0,14	0,53	1,51	6,71	2,98
20000103	0414342	51,54	29,24	4,41	5,10	1,32	0,44	0,59	0,21	0,60	1,53	6,63	2,96
19991227	0413556	52,33	29,28	4,87	5,06	1,39	0,45	0,60	0,23	0,62	1,53	6,01	2,80
19991220	0412158	53,31	28,82	4,55	5,06	1,16	0,50	0,61	-0,28	0,12	1,60	6,33	2,89
19991213	0410498	52,26	28,36	4,58	5,09	1,18	0,56	0,60	-0,47	-0,08	1,59	6,19	3,18
19991129	0407817	52,53	29,82	4,59	4,85	1,09	0,39	0,63	-0,32	0,09	1,53	6,50	2,53
19991115	0405485	52,47	27,88	5,04	5,12	1,09	0,53	0,73	0,09	0,57	1,59	5,53	3,39
19991108	0403896	52,80	28,64	4,80	4,92	1,13	0,58	0,80	-0,15	0,38	1,58	5,97	3,85
19991101	0402444	52,11	24,99	6,06	4,93	1,51	0,59	1,51	0,20	1,19	1,68	4,12	5,17
19991025	0401123	51,08	27,09	5,65	5,49	1,40	0,72	1,20	0,33	1,12	1,56	4,79	4,36
19991018	0400127	49,11	28,21	4,97	6,00	1,23	0,78	0,80	-0,01	0,52	1,48	5,68	5,76
19991011	0398502	49,06	29,28	4,72	6,04	1,24	0,78	0,79	0,08	0,60	1,44	6,20	4,57
19991004	0397322	48,55	28,72	4,28	6,31	1,30	0,86	0,76	-0,06	0,44	1,47	6,71	4,79
19990927	0395716	49,42	27,33	5,78	6,51	1,93	0,87	1,28	0,42	1,26	1,49	4,73	3,28
19990920	0394362	48,95	28,44	4,22	6,54	1,36	5,03	0,77	-0,01	0,50	1,50	6,74	5,03
19990913	0392623	48,56	28,86	4,33	6,64	1,37	0,89	0,77	0,03	0,54	1,46	6,67	4,77
19990906	0390989	49,14	29,84	4,00	6,84	1,38	0,61	0,74	-0,13	0,36	1,45	7,46	4,14
19990830	0389747	49,73	29,21	4,09	6,58	1,35	0,65	0,81	-0,12	0,41	1,49	7,14	3,95
19990823	0388138	49,98	28,28	4,51	6,63	1,43	0,91	0,86	-0,04	0,53	1,52	6,27	3,62
19990812	0386555	50,32	27,72	4,71	6,39	1,46	0,97	0,90	0,01	0,60	1,55	5,89	3,84
19990808	0385297	48,84	28,21	4,44	6,01	1,34	1,29	0,85	0,00	0,56	1,50	6,35	4,90
ANT. PRØVER	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
MIDDELTAL	51,41	27,96	4,89	5,41	1,42	0,78	0,92	0,13	0,74	1,57	5,81	4,11	
STD. AFVIG.	1,71	1,32	0,55	0,85	0,21	0,79	0,26	0,25	0,39	0,08	0,87	0,95	
VAR. KOEFF.	3,33	4,72	11,33	15,74	14,73	101,19	28,57	185,06	53,00	4,82	15,01	23,04	

Vare : FLDFVO Ddt.sted : Kunde : T: M A: R Alle Periode :
 PLA 200 *BAA,CBL* Aalborg Portland A/S FLYVBSKE CEMENT

Antal : 33
 6/04/00 01:11 1

Fynsværket

Dato	Prøve- nummer	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	SO3 %	K2O total %	Na2O %	Na2O ækv. %	SIM	ALM	glade- tab %
20000324	0429873	49,83	26,58	6,41	3,72	2,16	0,51	2,12	0,88	2,28	1,51	4,15	5,84
20000312	0428344	50,11	26,43	6,33	3,73	1,93	0,47	1,79	0,66	1,84	1,53	4,18	5,72
20000305	0428343	50,78	26,03	5,56	3,36	1,53	0,38	1,48	0,53	1,50	1,61	4,68	7,72
20000305	0427182	50,77	25,03	5,53	3,32	1,34	0,43	1,36	0,44	1,33	1,66	4,53	9,02
20000223	0425601	51,83	23,56	5,40	2,91	1,41	0,34	1,53	0,42	1,43	1,79	4,36	11,30
20000222	0424273	49,50	26,91	7,27	4,13	2,69	0,46	2,65	1,00	2,74	1,45	3,70	3,99
20000209	0422868	48,62	27,84	7,05	4,15	2,81	0,55	2,66	1,15	2,90	1,39	3,95	3,50
20000209	0421781	52,15	26,97	5,26	3,48	1,75	0,35	1,70	0,66	1,78	1,62	5,13	6,20
20000204	0420585	52,26	26,48	5,09	3,40	1,63	0,33	1,57	0,67	1,70	1,66	5,20	6,55
20000127	0419101	51,94	26,61	5,35	3,38	1,74	0,36	1,66	0,67	1,76	1,63	4,97	6,13
20000112	0417202	50,14	28,76	6,40	3,57	2,15	0,39	2,11	0,68	2,07	1,43	4,49	3,81
19991231	0414581	49,03	28,34	6,46	3,81	2,05	0,51	1,95	0,70	1,98	1,41	4,39	5,13
19991223	0412934	47,76	26,53	8,50	4,64	2,32	0,63	2,41	0,49	2,08	1,36	3,12	4,02
19991222	0413938	49,33	27,54	7,44	3,87	2,25	0,46	2,05	0,79	2,14	1,41	3,70	4,58
19991213	0410114	47,16	26,10	7,78	4,03	2,30	0,48	2,52	0,52	2,18	1,39	3,35	5,29
19991203	0408749	48,78	26,05	8,39	4,40	2,28	0,70	2,50	0,82	2,47	1,42	3,10	3,40
19991122	0406407	49,11	22,42	11,74	5,18	1,91	0,85	2,41	1,72	3,31	1,44	1,91	1,80
19991014	0398867	46,82	25,95	8,35	5,09	2,69	0,83	2,42	0,95	2,54	1,37	3,11	4,69
19991007	0397754	47,61	26,47	8,09	4,98	2,61	0,68	2,41	0,93	2,52	1,38	3,27	4,35
19991004	0396856	47,08	26,33	7,78	5,71	2,43	0,67	2,10	0,64	2,02	1,38	3,38	4,50
19990723	0382520	47,60	26,45	8,39	4,27	2,64	0,61	2,76	1,11	2,93	1,37	3,15	3,72
19990716	0380994	47,32	25,74	7,86	5,07	2,68	0,88	2,43	1,17	2,77	1,41	3,27	4,53
19990715	0379446	48,07	26,12	7,51	4,48	2,58	0,60	2,43	1,14	2,74	1,43	3,48	4,40
19990706	0377126	47,43	26,91	7,38	4,85	2,48	0,54	2,44	1,12	2,73	1,38	3,65	3,95
19990701	0377872	48,34	26,81	7,80	4,70	2,70	0,67	2,46	1,21	2,83	1,40	3,44	2,86
19990618	0374647	45,15	28,54	5,02	7,41	1,77	0,59	1,37	0,44	1,34	1,35	5,69	4,71
19990613	0373745	45,19	27,34	6,22	5,97	2,09	0,57	1,89	1,14	2,38	1,35	4,40	5,26
19990610	0371365	46,30	26,99	7,66	5,61	2,49	0,68	2,12	1,25	2,65	1,34	3,52	3,73
19990528	0369857	48,84	27,94	6,32	6,13	2,17	0,58	1,85	0,58	1,80	1,43	4,42	4,69
19990528	0368109	46,73	27,01	8,47	4,61	2,59	0,52	2,37	1,34	2,90	1,32	3,19	3,99
19990514	0366524	45,95	25,30	8,18	4,87	3,03	0,61	2,53	1,17	2,83	1,37	3,09	3,60
19990507	0363526	47,76	26,54	8,13	4,42	2,73	0,49	2,67	0,89	2,65	1,38	3,26	4,11
19990507	0363525	48,66	26,43	7,84	4,31	2,72	0,46	2,77	1,03	2,85	1,42	3,37	3,71
ANT. PRØVER		33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
MIDDEL TAL		48,60	26,52	7,18	4,47	2,26	0,55	2,17	0,88	2,30	1,45	3,84	4,87
STD. AFVIG.		1,93	1,25	1,40	0,97	0,44	0,14	0,43	0,31	0,53	0,11	0,79	1,80
VAR. KØEFF.		3,96	4,71	19,45	21,62	19,59	26,11	19,62	35,60	23,22	7,86	20,70	36,95

Vare : FLDAMV Udt.sted : Kilde: T: M A: R Alle
 FLA 200 *HRA,CBL* Aalborg Portland A/S FLYVEARBE CEMENT

Periode : -

Antal : 33
 6/04/00 01:11 1

Amagerværket

Dato	Prøve- nummer	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O total	Na2O	Na2O skv.	SIM	ALM	gløde- tab
		%	%	%	%	%	%	%	%	%			%
20000331	0430986	52,78	28,57	5,65	3,55	1,92	0,59	2,06	0,60	1,96	1,54	5,06	2,60
20000330	0430987	57,54	22,79	6,03	3,92	1,70	0,75	2,03	0,44	1,78	2,00	3,78	3,61
20000328	0429280	53,19	28,25	5,30	3,88	1,66	0,52	1,54	0,51	1,52	1,59	5,33	2,41
20000317	0428328	49,93	29,20	4,99	5,03	1,79	0,77	1,44	0,41	1,36	1,46	5,85	2,62
20000310	0427323	52,73	28,19	5,29	4,75	1,68	0,72	1,27	0,34	1,18	1,58	5,33	2,86
20000303	0426345	51,83	28,70	5,26	4,45	1,74	0,73	1,38	0,47	1,38	1,53	5,46	3,10
20000222	0423673	50,99	29,58	4,77	5,08	1,95	0,79	1,36	0,55	1,44	1,48	6,20	2,68
20000211	0422542	48,65	29,48	5,06	5,88	2,27	0,90	1,51	0,55	1,54	1,41	5,83	2,84
20000206	0421464	49,74	29,22	5,71	5,20	2,09	0,75	1,50	0,53	1,52	1,42	5,12	2,31
20000202	0420061	47,31	30,45	5,10	6,53	2,29	0,90	1,36	0,60	1,49	1,33	5,97	2,67
20000124	0419036	48,43	29,12	5,48	5,96	2,46	0,73	1,65	0,66	1,75	1,40	5,31	2,56
20000114	0417458	49,48	29,31	5,81	5,67	2,45	0,88	1,70	0,55	1,67	1,41	5,04	1,86
20000110	0416229	52,24	28,29	7,01	3,11	2,06	2,64	2,04	0,83	2,17	1,48	4,04	2,64
19991229	0414338	50,58	29,06	7,28	3,55	2,28	0,69	2,40	1,21	2,79	1,39	3,99	1,89
19991227	0413381	50,01	28,69	7,18	3,78	2,28	0,53	2,33	0,88	2,41	1,39	4,00	2,18
19991217	0412160	49,40	28,13	6,84	4,49	1,93	0,49	2,04	0,50	1,84	1,41	4,11	3,11
19991214	0410360	50,94	28,08	7,34	3,44	1,90	0,66	2,17	0,35	1,78	1,44	3,83	2,32
19991207	0409043	50,15	28,82	6,34	3,84	1,76	0,60	1,89	0,41	1,65	1,43	4,55	2,93
19991129	0407819	48,24	29,30	5,89	5,31	1,92	0,73	1,73	0,26	1,40	1,37	4,97	3,12
19991121	0406913	49,12	28,73	6,47	5,33	2,08	0,55	1,76	0,26	1,42	1,40	4,44	2,68
19991112	0405491	48,21	27,85	5,88	5,34	1,98	0,55	1,65	0,24	1,33	1,43	4,74	3,46
19991105	0403899	48,30	28,74	6,21	5,36	1,89	0,59	1,56	0,35	1,38	1,38	4,63	3,54
19991029	0402279	48,47	29,81	5,84	5,19	1,89	0,60	1,70	0,28	1,40	1,36	5,10	2,91
19991024	0401124	48,11	28,60	6,33	5,75	1,95	0,66	1,57	0,43	1,46	1,38	4,52	3,97
19991012	0399948	48,46	28,70	6,41	5,74	1,95	0,65	1,59	0,49	1,54	1,38	4,48	3,86
19991004	0397323	48,66	29,34	5,37	5,35	1,89	0,59	1,59	0,45	1,50	1,40	5,46	3,42
19990924	0395698	48,66	29,39	5,23	5,47	1,85	0,56	1,59	0,45	1,50	1,41	5,62	2,64
19990824	0387858	49,19	29,14	5,41	5,44	1,90	0,71	1,62	0,42	1,49	1,42	5,39	2,63
19990813	0386726	50,46	25,57	6,62	4,90	1,96	0,56	1,80	0,68	1,86	1,57	3,86	4,70
19990809	0385087	48,31	29,82	6,12	5,47	1,91	0,56	1,65	0,52	1,61	1,34	4,87	2,13
19990730	0383477	48,22	29,11	5,79	5,90	2,07	0,74	1,64	0,61	1,69	1,38	5,03	2,54
19990725	0382353	49,51	28,91	5,55	5,13	1,97	0,76	1,61	0,50	1,56	1,44	5,21	3,06
19990715	0380511	49,41	29,31	5,53	5,10	1,99	0,80	1,63	0,53	1,60	1,42	5,30	2,57
ANT. PRØVER	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
MIDDEL TAL	49,92	28,67	5,91	4,94	1,98	0,73	1,71	0,51	1,64	1,45	1,45	4,92	2,86
STD. AFVIG.	2,05	1,33	0,70	0,86	0,20	0,36	0,27	0,19	0,32	0,12	0,12	0,67	0,61
VAR. KOBFP.	4,10	4,65	11,77	17,43	10,30	48,97	16,09	37,78	19,76	8,24	13,51	21,35	

Vare : PLDMKS Udt.sted : Kunde : T: M A: R Alle Periode :
 PLA 200 *HAA,CBL* Aalborg Portland A/S FLYVEASKE CEMENT

Antal : 33
 6/04/00 01:11 1

Studstrupværket