

# Formidlingstekst til ph.d. cup 2018

Af Michael Rosenlund Lodahl

## **Hvordan noget meget småt kan påvirke noget meget stort**

Vi tænker sjældent over, hvad der er i jorden vi og vores huse står på. Oftest er det først når der opstår problemer, at vi indser, hvor meget jordens type og egenskaber påvirker vores byggerier. I det østlige Jylland og sydlige øhav findes nogle lertyper, som kræver særlig opmærksomhed. Disse lertyper er kendt som de plastiske lere og er notoriske for at udvikle store volumenændringer over tid ved be- eller aflastning, hvilket kan give sig udslag i store sætninger, revner mv. Processen kaldes konsolidering og opleves for alle bygninger konstrueret på ler. Geotekniske ingeniører regner på konsolideringsprocessen under designfasen for et byggeri. For de plastiske lertyper er det dog meget svært at ramme rigtigt, da de eksisterende modeller ikke passer godt til disse jordtyper og volumenændringen typisk udvikler sig over flere årtier.

Mit ph.d. projekt omhandler netop disse jordtyper. Under studiet har det vist sig, at det store indhold af lermineralet smektit i disse problematiske lertyper er den udløsende faktor for de uheldige egenskaber som leren er kendt for: lave styrker, høje deformationspotentialer og lange konsolideringstider. Smektitmineralerne er små – blot nogle få nanometer tykke og alligevel har studiet vist sammenhænge mellem lerens mineralogiske sammensætning og den opførelse, som kan forventes når leren belastes af store bygninger. Under studiet er der blevet udviklet en model til at forudsige deformationsopførelsen – dvs. hjælpe danske ingeniører under byggeriernes designfase, når det skal undersøges, om der vil opstå uacceptable sætninger af bygværket. Under studiet er det ligeledes blevet påvist, at indholdet af smektit er årsag til den mangel på "hukommelse" som er påvist for disse plastiske lerarter, men ikke for andre lere.

## **Hvor galt kan det gå?**

Når man skal lave en bygning, starter man med fundamentet. Fundamentet skal være tilstrækkeligt stærkt og stabilt, til at sikre at bygningen står solidt i hele dens levetid. For bygninger placeret på plastisk ler, skal ingeniøren sikre, at bygningen er stabil på trods af, at fundamentet kan bevæge sig i mange årtier. Og det kan være dyrt. Men sikres bygværket ikke tilstrækkeligt, f.eks. på grund af for lidt viden om underbunden, er det endnu dyrere. For få år siden iværksatte Banedanmark et forstærkningsprojekt af den gamle Lillebæltsbro til et trecifret millionbeløb, da det havde vist sig, at fundamenterne stadig bevæger sig, og at sikkerheden trængte til en supplering efter broens trofaste godt 80 år tjeneste. En af de fire bropiller havde på det tidspunkt sat sig 75 cm. En gåtur gennem den gamle del af Aarhus vil også illustrere, hvordan plastisk ler under husenes fundamenter kan give anledning til revner over vinduer, skæve porte og huse. Dette viser, hvordan problemer med det plastiske ler er kendt på både stor og lille skala.

Som en følge af urbanisering og byudvikling bygger vi højere, tættere, og på grunde, som har dårlig jordbundsforhold, fordi de gode grunde er optaget. Dermed bliver der – f.eks. på Aarhus havnefront – i disse år konstrueret mange bygværker, hvor egenskaberne af de plastiske lerarter er dominerende for fundamenternes opførelse og stabilitet. Bygninger som "Isbjerget", "Lighthouse\*" og "ARoS next level" er alle millionprojekter, som funderes på plastisk ler. For mega-projektet Femern-forbindelsen, som skal oprette fast forbindelse mellem Danmark og Tyskland, er den krævede levetid 120 år. Da en forholdsvis stor del af de 18 km sænketunnel, som udgør den faste forbindelse, skal funderes direkte i eller i umiddelbart nærhed af de plastiske lere, bliver detaljeret viden om leren opførelse afgørende for at opnå et sikkert og stabilt design.

## Lerens sammensætning og struktur

Et fælles træk for de forskellige plastiske lere i Danmark er et meget højt indhold af smektitminerale, sammenlignet med andre almindelige lere. Dette har været en central observation for ph.d.-projektet. Hovedformålet med ph.d.-projektet var derfor at undersøge indflydelsen af dette fællestræk mellem de forskellige danske plastiske lere på deres deformationsegenskaber. De naturlige lere har en sammensætning og struktur, som er et resultat af et langt og kompliceret geologisk historie. Derfor valgte man under ph.d.-projektet at arbejde med kunstige prøver for at kunne isolere effekten af smektitindholdet, og kende alle variable, som ellers kan have påvirket lers egenskaber. Ph.d projektet påviste, at deformationsegenskaberne af plastisk ler er stærkt afhængigt af smektitindholdet, og kendes smektitindholdet fra en lerprøve, har man en god indikator for dens opførelse.

## Ler med Alzheimers

En af disse variable, som blev styret under projektets forsøg var belastningshistorien for de testede prøver. For almindeligt, dvs. ikke-plastisk ler, indlejres en belastning i lerens interne struktur og giver en stivere og stærkere opførelse indtil en ny og større belastning mødes. Denne tidligere belastning, f.eks. vægten af iskapperne under istiden, som er indkodet i leren via den interne struktur, kaldes forbelastningen. For belastninger, som er mindre end forbelastningen, vil almindeligt ler være uproblematisk at bygge på. Da leren har kunnet bære større belastninger i sin geologiske historie, kommer der ikke store sætninger ved opførelse af en ny bygning, fordi leren allerede er presset sammen. Såfremt en alm. ler belastes over forbelastningen, indtræder en ny tilstand, hvor lerets respons er blødere og giver markant større sætninger af udførte bygværker. I tidligere dansk forskning er det gentagende gange blevet vist, at forbelastningen for det plastiske ler er et flydende begreb, som er stærkt afhængig af, hvad leren har været udsat for. Det er i flere tilfælde blevet vist, hvordan den indkodede forbelastning forsvinder for det plastiske ler. Dette er naturligvis meget uheldigt, hvis man har tænkt sig at bygge en stor bygning oven på et lag af plastisk ler.

Under ph.d. projektet blev det påvist at de plastiske leres "hukommelsestab" i styret af smektitindholdet i leren. Når en tærskelværdi for smektitindholdet overtrædes, gennemgår leren store volumenændringer under en aflastning. Disse store volumenændringer er så store, at strukturen, som blev indlejret under f.eks. belastningen fra en gletsjer, bliver udvisket mens leren aflastes. Når leren er helt aflastet, f.eks. ved at en gletsjer er helt smeltet, har leren derfor en forbelastning, som er meget mindre end vægten af gletsjeren. Derfor bliver den gavnlige effekt af gletsjerens sammentrykning af leren mindre for plastisk ler end for almindeligt ler.

## Model for plastisk ler

Som beskrevet ovenfor, har indholdet af smektitminerale i en ler, stor betydning for både deformationsopførelsen og belastningshukommelsen. Samtidigt er det velkendt fra ingeniørarbejdet med det plastiske ler, at det er svært at forudsige deformationerne af bygninger, da de regnemodeller, som anvendes, er udviklet for andre lertyper. Under det udførte ph.d.-projekt blev en model, som tidligere har været anvendt for en bestemt type plastisk ler, udvidet, så det nu er muligt at modellere en bred stribe af de naturligt forekommende plastiske lerarter. Modellen blev udviklet på baggrund af forsøg udført på kunstige prøver, hvor smektitindholdet var kendt, men er også brugbar for naturlige prøver.

Modellen består af fire parametre, som skal kalibreres. To af disse parametre er påvist at afhænge stærkt af smektitindholdet i leren, mens de sidste to ser ud til at være uafhængige af smektitindholdet. Under ph.d.-projektet blev det illustreret, hvordan den udviklede model repræsenterer opførelsen af det plastiske ler på en bedre måde end hidtil har været muligt.

Under ph.d. projektet blev det vist, at modellen også kan beskrive opførelsen af naturligt ler, selvom den blev udviklet på baggrund af forsøg på kunstigt ler. For at opnå endnu bedre resultater med den nye model, skal der udføres en række forsøg for at kalibrere modellen for naturligt ler. Gennem en række forsøg og tilhørende kalibreringer, vil det over tid kunne udvikles en database af modelparametre, hvilket vil gøre det muligt for byggerier på plastisk ler – som f.eks. Femern forbindelsen eller højhuse på Aarhus havn – at forudsige sætningsforløbet bedre end det er muligt i dag. Dette vil resultere i både billigere funderingsløsninger og større sikkerhed omkring bygningernes sætningsudvikling efter de er opført.