

5. Leirfallet ved Lade, Trondheim 1944.

Foredrag holdt i Norsk Geologisk Forening 11. — 4. — 1945.

AV PER HOLMSEN.

Den 11. april 1944 kl. 16.30 gikk det et leirras ned mot Ladedalen, et lite dalføre mellom Strinda og Trondheim kommuner, like syd for Ladehammeren. Raset var av leirfalliknende type, men det var ikke rent noe flytende leire utover. Omkring 20 mål av terrenget på begge sider av Lade Allé var sunket inn og nedenfor var der presset opp en stor voll. Denne hadde demt opp Ladebekken så der hadde dannet seg en sjø. Det gamle bekkeløp ble hevet opptil 10 m i været og skjøvet flere meter til siden.

Den første sakkyndige som ble tilkalt var jernbanegeolog, avdelingsingeniør Sv. Skaven Haug som oppholdt seg i Trondheim akkurat da. Han foretok befaringer av rasstedet den 14. og 15. april, og avga en rapport datert 17. april 1944. Denne inneholder foruten anvisninger om øyeblikkelige sikringsarbeider også en betenkning om årsaken til raset, som betegnes som i alt vesentlig en naturkatastrofe. Rapporten inneholder også beretning fra en del personer som var øyenvitner til katastrofen.

På grunn av den skade som grunneierne hadde lidt ved raset (tre villaer sto igjen på raskanten og sto ikke til å redde), og fordi det året i forveien var falt en del bomber innenfor rasområdet, ble Norges Geologiske Undersøkelse av det daværende Trafikkdepartementet pålagt en nærmere utredning av saken, spesielt med hensyn til spørsmålet om hvorvidt bombeeksplosjonene kunne være årsak til raset, samt om der var fare for ytterligere ras.

Av forskjellige grunner falt det vanskelig for Skaven Haug å fortsette arbeidet med de grunnundersøkelser som var nød-

vendige, og saken ordnet seg slik at undertegnede fikk i oppdrag å utrede de forskjellige spørsmål.

Ved elskverdig imøtekommenhet fra stadsingeniør Thesens side i Trondheim kommune ble det stilt mannskap til disposisjon for en grunnundersøkelse. Om denne skal der redegjøres nedenfor.

På grunnlag av egne erfaringer av rasstedet samt av resultatene av de foreløpige grunnundersøkelser avga undertegnede en innberetning. Antagelsen om at årsaken til raset med visse modifikasjoner skyldes naturbetingede forhold, står i overensstemmelse med Skaven Haugs rapport. Virkningen av bombeeksplosjonene antokes å ha vært små, og kunne ikke sies å ha framkalt raset, da dette gikk mere enn 8 måneder senere. Det ble tilrådet at raskantene snarest ble ytterligere utjevnet for om mulig å redusere faren for videre ras, og likeledes ble det foreslått satt i gang presisjonsnivellemerter av punkter i et område ovenfor rasgropen for om mulig å få kjennskap til eventuelle bevegelser i grunnen i dette område.

I løpet av sommeren ble grunnundersøkelsene fortsatt leilighetsvis under stadsingeniør Thesens ledelse ved hans assistentingeniør J. Saxe. Imidlertid var arbeidsstokken for det meste opptatt med annet presserende arbeid, og det anvendte bormateriell var mangelfullt, derfor ble det ikke anledning til så omfattende grunnundersøkelser som ønskelig kunne vært sett fra et vitenskapelig synspunkt.

Av en eller annen grunn ble det ikke gjort noe med raskantene og heller ikke satt i gang noe presisjonsnivellemerter.

Det som gjør dette leirras mere interessant enn ras flest, er den omstendighet at der fra før av eksisterte et godt kart i målestokk 1 : 1000 over hele rasområdet. På grunn av de store økonomiske interesser som ble berørt av raset er det også gjort flere undersøkelser og arbeider enn vanligvis er tilfelle ved ras. Disse undersøkelser kaster ikke alene lys over årsakene og hendingsforløpet ved dette spesielle leirfall, men gir oss også opplysninger av mere generell art vedrørende våre leirfall; det er derfor på sin plass at disse resultater blir gjort kjent.

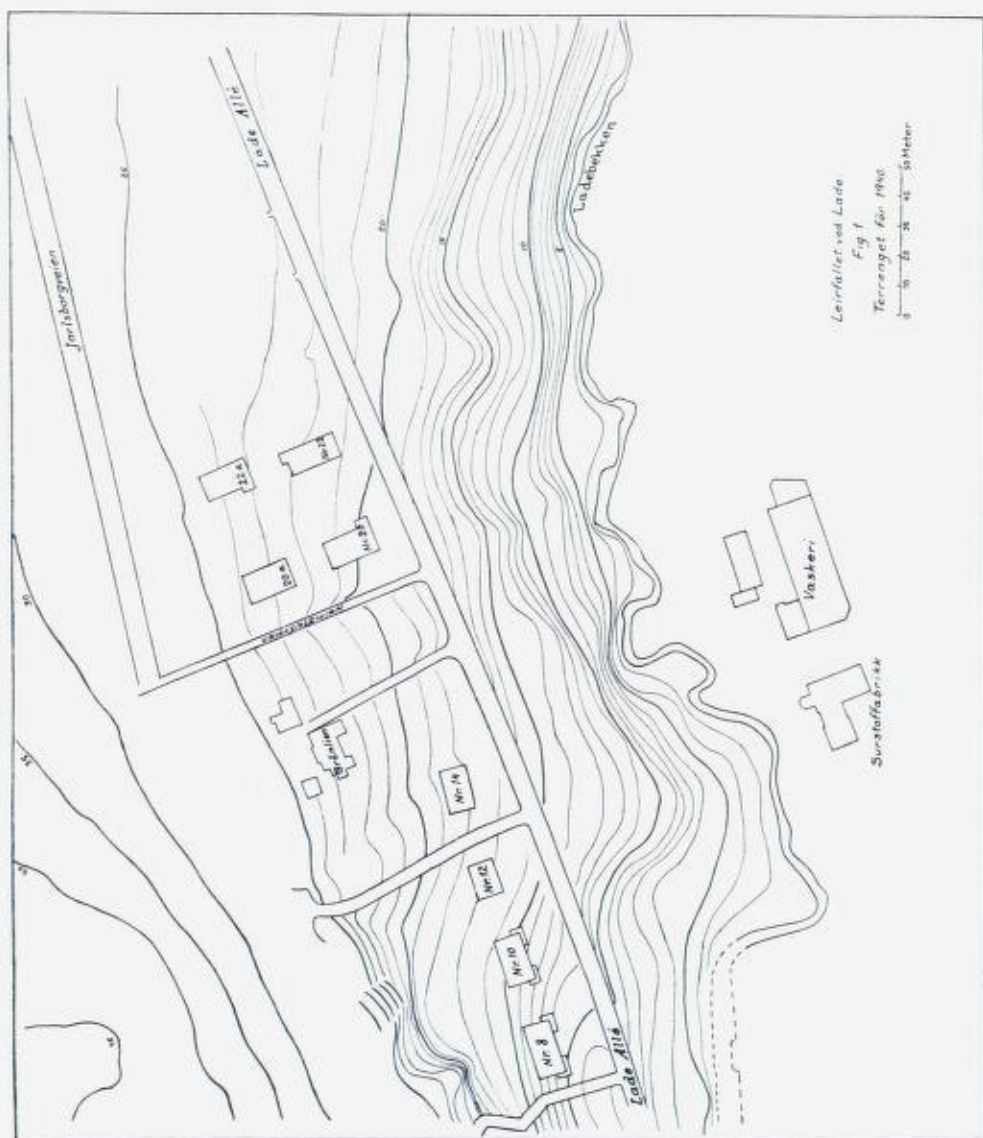


Fig. 1.

Noe av det første som var blitt gjort etter raset, var opp-takelsen av et nytt kart i målestokk 1 : 500, for øvrig utført av de tyske marinemyndigheter som var en del skadelidt ved raset. I overensstemmelse med Skaven Haugs forslag var det av Trondheim kommune nivellert en rekke terrengprofiler loddrett på en basislinje som var lagt parallell med den utglidde Lade Allé, dette med sikte på en grunnundersøkelse.

Av boringer var det i første omgang, før undertegnede fikk overlatt saken, utført noen dreieboringer (sonderboringer). Utstyret hertil var alminnelige $\frac{3}{4}$ " vannrør i to meters lengder med utvendige muffe. Nederst en spydformet spiss. På grunn av de utvendige muffe som henger seg opp i leiren, gir ikke resultatene av disse dreieboringer entydige opplysninger om grunnforholdene, og vil derfor ikke bli nærmere omtalt her. De var dog til hjelp for stadsingeniøren, og var brukbare til å måle dybden til fjell i et område ovenfor rasgropen. Etter at undertegnede overtok saken, ble det i overensstemmelse med Skaven Haugs forslag utført en del boringer med prøvetaking. Vedkommende borhull er merket med tallene 1 til 9 på kartskissen fig. 3. Herav er nr. 1 til 3 noenlunde fullstendige boringer med til dels flere prøver for hver meter. Der ble tatt prøver så dypt man kunne komme ved hjelp av det enkle utstyr som var forhånden ved Norges Geologiske Undersøkelse. Hensikten med prøvetakingen var om mulig å undersøke på hvilket dyp glidningen var foregått, samt ikke minst for å ha noen undersøkelser å støtte seg til ved bedømmelsen av risikoen for fortsatte ras.

Det kan som nevnt gjøres berettigede innvendinger mot det som er gjort. Fra faglig hold vil det kunne hevdes at der burde vært tatt flere prøver fra flere borhull. Det mangelfulle utstyr får ta skylden for de kvantitative mangler.

Senere ble det utført atskillige dreieboringer i og i nærheten av rasgropen, hvorved man på en hurtig måte skaffet seg et visst kjennskap til grunnforholdene. Disse undersøkelser vil ikke bli nærmere gjennomgått her.

Resultatet av disse første boringer (se tabeller borhull 1—6) viste at der var et tykt, temmelig fast lag av seig leire de øverste 6—8 m. Derunder kom løsere leire, som til dels hadde en kvikkaktig konsistens. Ved borhull nr. 2 var leiren

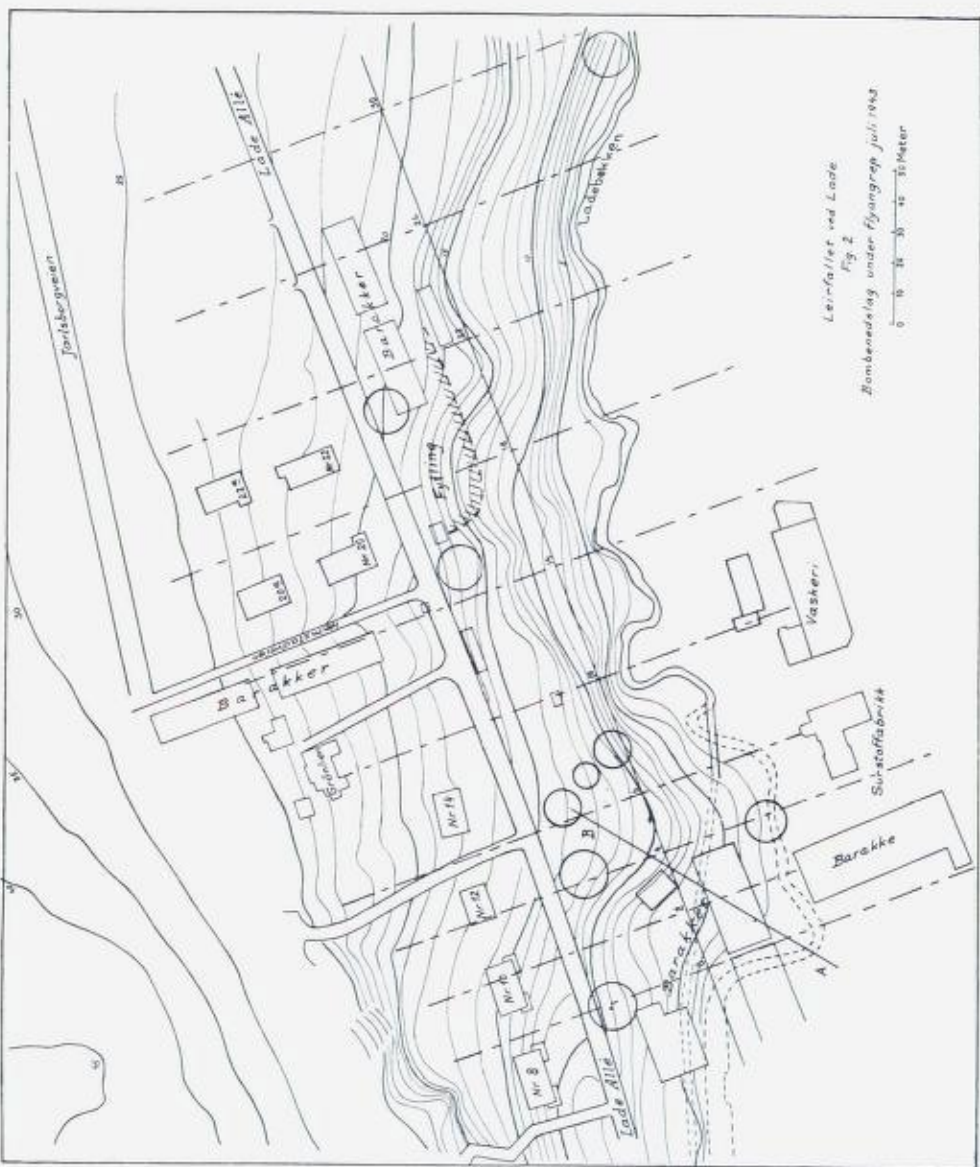


Fig. 2.

løsest i 9—10 m dyp. Det løsere leirlag kunne følges gjennom boringene over den vestlige del av rasområdet samt under en del av det gjenstående terreng ovenfor. Leirlaget fulgte stort sett terrengoverflaten, og lå altså ikke horisontalt. Dypere nedover var leiren igjen fastere og seig. I den østlige del av rasområdet kunne kvikkaktige leirlag ikke påvises. Det var da fortrinsvis i de løseste leirlag at glidningen foregikk. Den steile raskant frambygd ved undertegnedes besøk i juni 1944 et uheldig belastningstilfelle, selv etter at en foreløpig utjevning av raskantene til skråning 1 : 1½ var blitt foretatt. Man kunne derfor frykte for at en del av det gjenstående terreng ovenfor rasets vestlige del ville følge etter ut i rasgropen om kortere eller lengere tid. Av denne grunn tilrådet undertegnede å jevne ut raskantene ytterligere, i håp om derved å redde en del av bebyggelsen ovenfor. Dette ville i så fall være den eneste måte som i praksis kunne komme på tale for å stabilisere terrenget.

For å komme til klarhet over årsakene til raset var det nødvendig å prøve å rekonstruere stabilitetsforholdene før raset gikk. Vi kan i dette spesielle tilfelle til en viss grad gjøre dette, fordi det eksisterte et godt kart over området fra før av. Vi skal da se litt på de opptatte leirprøver og de av Trondheim kommune nivellerte profiler, men først må der gjøres noen alminnelige bemerkninger om leire.

Når det går et leirfall, blir leiren i alminnelighet en god del omrørt. Oftest går leirfallene i typiske kvikkleiravsetninger hvor kvikkleiren blir helt flytende ved omrøringen og renner bort. Flak etter flak løsner og glir ut, bare tørrskorpen pleier å svømme utover i rasgropen. I alminnelighet kan man derfor ikke si stort om leirens opprinnelige fasthet og bæreevne. I det foreliggende tilfelle derimot var det hele foregått som enkle setninger hvorved det ene flak etter det andre hadde satt seg uten at leiren var blitt videre omrørt uten akkurat langs selve glideflatene. Den opprinnelige terrengoverflate var blitt liggende igjen i form av trappetrin, hellende innover mot raskanten.

Jeg vil her innskytte noen bemerkninger om glidninger i kohesjonsjordarter. De dyptgående glidninger i leire (kohesjonsjordart) kan oftast føres tilbake til et system av flak som er glidd etter tilnærmet sylindriske glideflater. Se Fr. Vogt (10).



Fig. 3.

Hvis raset er så lite at det bare består av enkelte flak, ser det ut til at glidningen skjer etter en kuleflate. Dette er jo sannsynlig, idet kuleflaten er den minste overflate som begrenser et legeme. Hvor glidningene har anledning til å foregå langs en lang rett kant, blir det etter sylinderflater, fordi kohesjonen ved sylindereflatene ikke spiller noen rolle. Fotografiet fra Knivsvik, side 13, viser et leirfall i Hurum hvor leiren ikke rant vekk, men ble liggende i lange benker begrenset av tilnærmet sylindriske flater. Fotografiet fig. 7 viser antydning til det samme fenomen i tilfellet ved Lade.

Vi må i mangel av leirprøver før raset gikk benytte de leirprøver som ble tatt opp etterpå, vi må bare ta visse reservasjoner, særlig det at leiren langs selve glideflatene er blitt omrørt. De undersøkte prøver viste heller ikke noen tegn til deformasjon uten i et par tilfelle.

Ved å betrakte de terrengprofiler som ble opptatt av Trondheim kommune, hvor overflaten av det opprinnelige terreng er prikket inn, se fig. 8 og 9, vil man med litt erfaring med en gang se at der skal en overmåte løs leire til for at en naturlig overbelastning av terrenget skal forekomme. På fig. 9 er de geotekniske tall av prøvene fra borhullene 2, 3, 4, 5 og 6 avsatt. Kotehøydene er de riktige. Terrengoverflaten var for slak til at ras kunne løsne uten videre. Vi må derfor søke rasårsaken annet steds.

I den vestlige del av rasområdet var der til stede en høy, bratt leirbakke hvor tyskerne hadde gravd seg et stykke inn i foten for å skaffe plass til en barakke. Dessuten hadde de gravd inn i selve bakken et betongskur som skulle brukes til lager; bare taket stakk over bakken, formodentlig av hensyn til bombesikkerhet. Derved var betydelige leirmasser fjernet ved foten av bakken. Vi skal se litt på hvorledes stabilitetsforholdene artet seg på dette sted før raset.

Takket være det gode kart kan vi rekonstruere det opprinnelige terrengprofil A—B, fig. 2 og 5. Profilet er lagt loddrett på de opprinnelige høydekurver. Vi vet ikke med absolutt sikkerhet hvor meget tyskerne hadde gravd ut av bakken, men vi kjenner så noenlunde størrelsen og beliggenheten av den nærmeste barakke. Regner vi forsiktigvis med at der ikke var



Fig. 4.

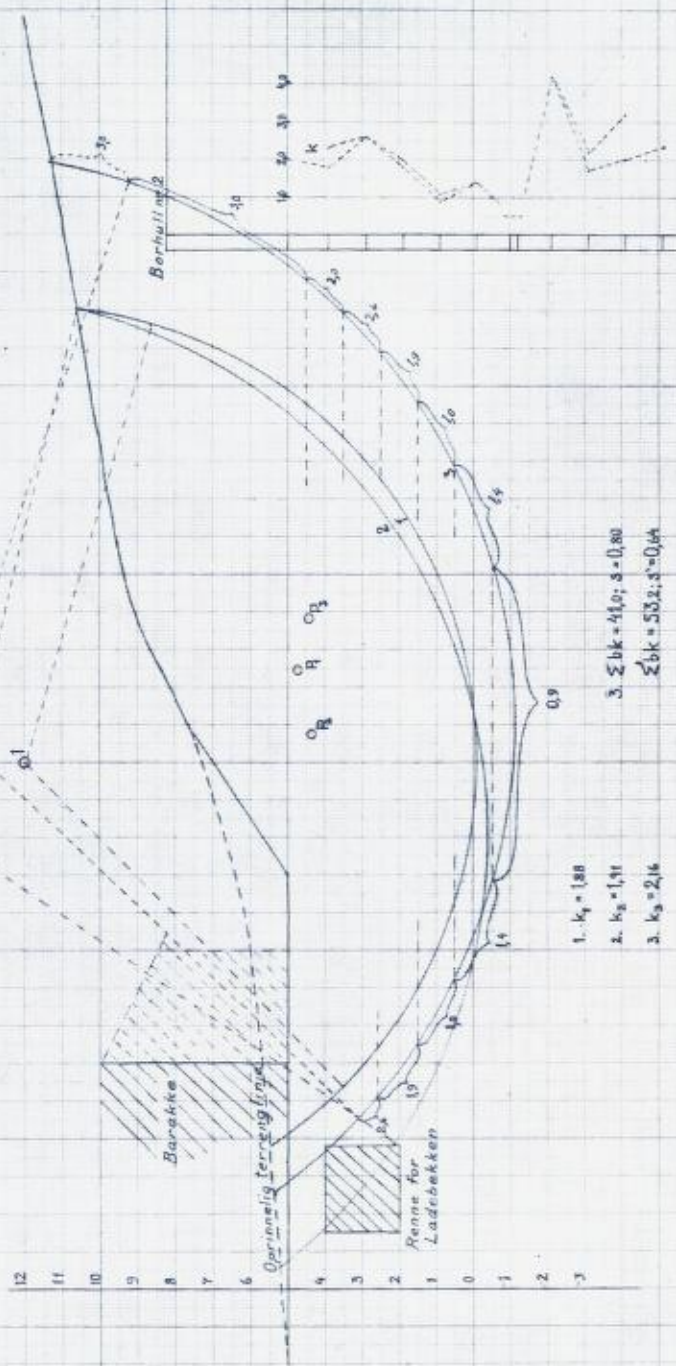
← N

Lairfallet ved Lade, Trondheim 1944.

Profil A-B



Fig. 5.



- 1. $k_1 = 1,88$
- 2. $k_2 = 1,11$
- 3. $k_3 = 2,16$

$\sum bk = 41,0; s = 0,80$
 $\sum bk = 53,2; s = 0,44$

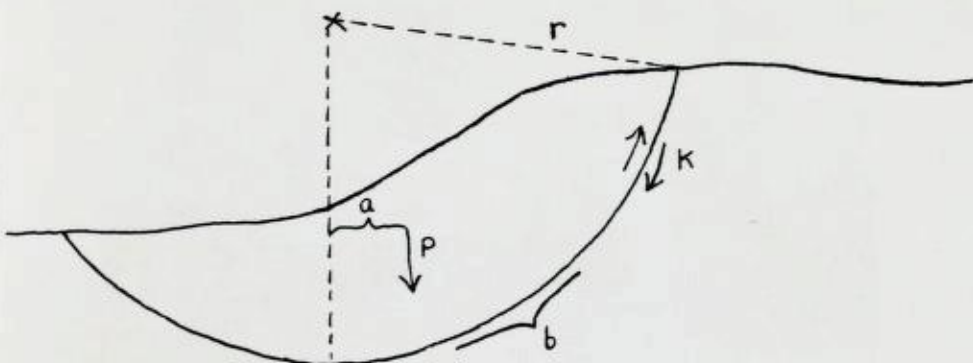


Fig. 6.

Leiren har skjærfastheten k .

P = de glidende massers vekt pr. lengdeenhet av sylindren.

a = tyngdepunktavstanden.

r = radien i et snitt loddrett på sylinderaksen.

b = buelengden av et snitt loddrett på sylinderaksen.

gravd mere enn at der var passasje rundt huset, noe som bekreftes av stadsingeniøren og en av arbeiderne, vil vi i hvert fall få et tilnærmet bilde av de tidligere forhold. Vi tenker oss lagt forskjellige sylindriske glidesnitt, og vi finner da forskjellig grad av stabilitet etter hvordan snittene ligger. Av forskjellige grunner vil vi foreløpig se bort fra kohesjonen ved glidesylindrenes endeflater. Det gjelder å finne det ugunstigste snitt, det vil si det snitt som fordrer den største skjærfasthet av leiren for at det ikke skal komme til brudd.

Stabilitetsforholdene av et enkelt terrengprofil hvor vi kan regne med sylindrisk glidesnitt i kohesjonsmasse, og hvor vi kan se bort fra kohesjonen ved endeflatene, kan framstilles på følgende måte, se fig. 6:

Betingelsen for likevekt er da: $P \cdot a = k \cdot b \cdot r$, og sikkerheten er uttrykt ved forholdet $s = \frac{b \cdot k \cdot r}{P \cdot a}$. Anvender vi denne

metode på det foreliggende tilfelle, kan beregningsmåten best forstås ut fra følgende betraktning:

I stedet for det foreliggende kompliserte tilfelle tenker vi oss et nytt, fig. 5, hvor forholdene er forenklet. Det tenkte til-



Fig. 7. Leirfall ved Lade. 13/9 1944. Etterras. Mot sydøst. I forgrunnen Lade Allee. Trærne på skrå viser hvordan jordskalkene har satt seg. Sammenlign fotografiet av leirfallet ved Knivsvik, side 13.

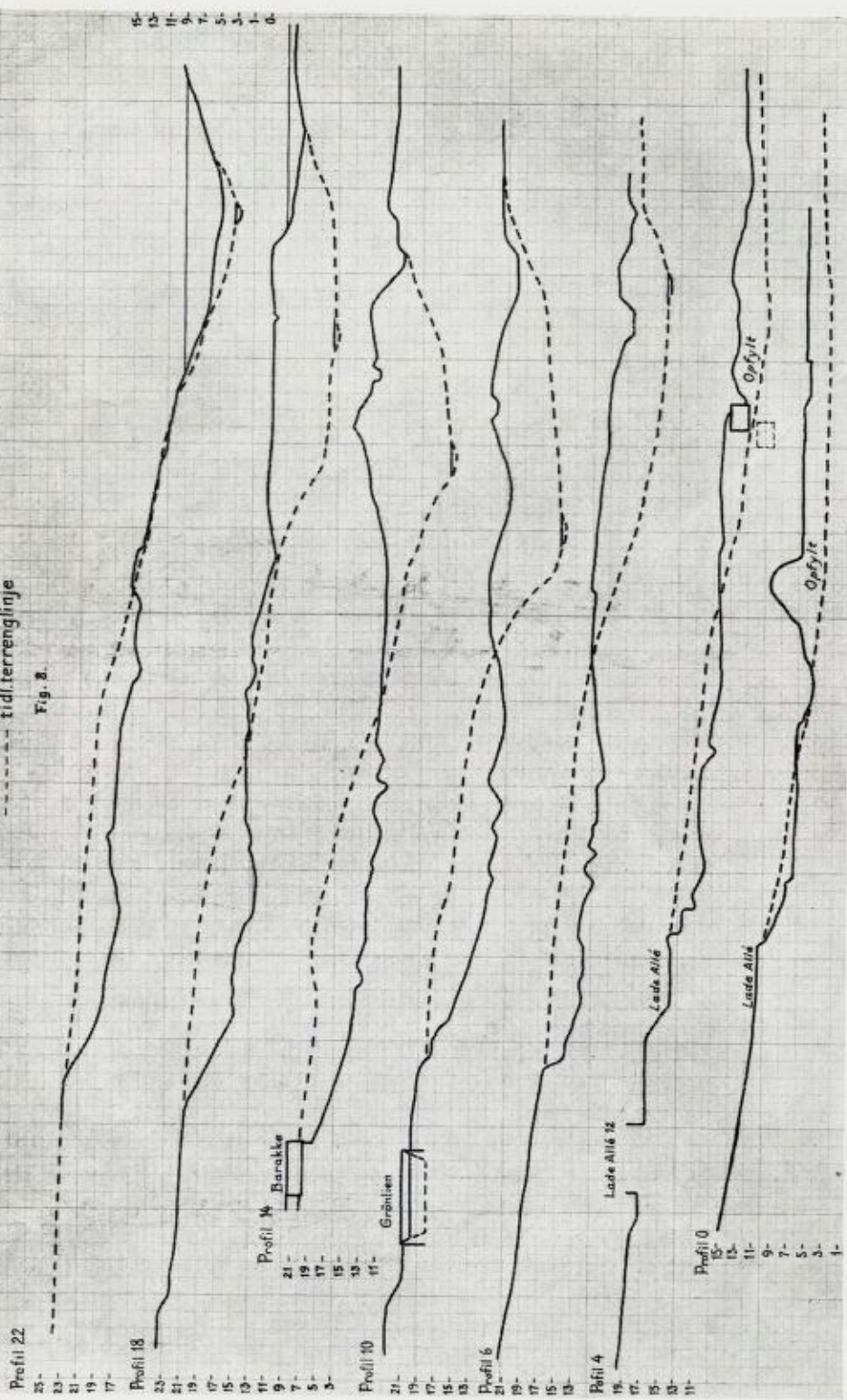
felle har samme terrengprofil som profilet A—B, som var angitt på kartskissen fig. 2. Vi bortser fra kohesjonen ved de forskjellige tenkte glidesylindres endeflater. Leirens egenvekt settes lik 1,95, noe som ligger nær gjennomsnittet for leirprøvene fra det nær beliggende borhull 2. Leirens kohesjons-egenskaper tenker vi oss som for de forskjellige prøver fra dette borhull, idet vi tenker oss at leiravsetningen er inndelt i horisontale lag som hvert har sine spesielle egenskaper, svarende til leirprøven fra samme dyp ved borhull 2. Vi tenker oss nå lagt et glidesnitt som når ned til et dyp omkring kote $\div - 1$, idet en stor del av glidesnittet da kommer til å ligge i det løseste leirlag. Likevektsbetingelsen for vedkommende snitt er da at leirlagene har en viss gjennomsnittlig skjærfasthet, la oss betegne den med k_1 . Vi prøver deretter et annet snitt, og får da en nødvendig skjærfasthet av k_2 osv. Av alle de snitt vi kan prøve, vil det være ett som er det ugunstigste, dvs. krever en større verdi av k enn for de andre snitt. I vårt eksempel

Profiler fra ras i Ladedalen, april 1944.

0 10m

----- tidl. terrænglinje

Fig. 8.



Profil 22

25-
23-
21-
19-
17-

Profil 18

23-
21-
19-
17-
15-
13-
11-
9-
7-
5-
3-

Profil 14
Barakke

21-
19-
17-
15-
13-
11-

Profil 10

21-
19-
17-
15-
13-
11-

Profil 6

21-
19-
17-
15-
13-

Profil 4

19-
17-
15-
13-
11-

Profil 0

15-
13-
11-
9-
7-
5-
3-
1-



Fig. 10. Leirfall ved Lade, 17/5 1944. Mot vest. Til venstre vaskeriet, i forgrunnen til venstre oppdemt sjø, til høire mannskap ved borehull nr. 1.

fig. 5 er det ugunstigste snitt nr. 3, og den tilsvarende nødvendige verdi av $k_3 = 1,89$.

For å beregne sikkerheten måler vi hver av buelengdene som hvert leirlag avskjærer. Betegner vi skjærfastheten i det øverste lag med k_1 og vedkommende buelengde med b_1 , for det neste lag med k_2 og b_2 osv., kan vi regne ut summen av produktene $k_1 b_1, k_2 b_2, \dots = \Sigma b \cdot k$, som er et uttrykk for den samlede kohesjon langs hele glidesnittet. Sikkerheten $s = \frac{\Sigma b \cdot k \cdot r}{P \cdot a}$ hvor P er den samlede vekt av leirmassene som glir og a tyngdepunktavstanden for det felles tyngdepunkt. Vi behøver ikke å utføre denne beregning for andre enn det ugunstigste snitt.

Nå må det gjøres den bemerkning at vi har regnet med at leiren har kohesjon helt opp til overflaten. I alminnelighet må man p. g. a. bl. a. utførte stabilitetsberegninger ved inntrufne ras o. a. gå ut fra at den øverste leirskorpe er gjennom-satt av sprekker, hvorved vi altså må se bort fra kohesjonen



Fig. 11. Leirfall ved Lade. 17/5 1944. Mot vest.
Til høire Lade Alle 14 og 20.

i de øverste lag. Regner vi i nærværende eksempel med at leiren har vært gjennomslått av sprekker til 2 m dyp, får vi som likeveksbetingelse at $k_s = 2,16$.

Regner vi med kohesjon helt opp til overflaten, får vi en verdi av $s_s = 0,80$, regner vi med tørrskorpe uten kohesjon, får vi $s_s = 0,64$, sannsynligvis ligger den riktige verdi mellom disse ytterligheter.

For at der skal være likevekt må vi ha at $s \geq 1,0$.

Etter disse regneoperasjoner sammenlikner vi det teoretiske tilfelle med vårt liknende fra praksis, og prøver å overføre de funne resultater til virkeligheten. Her må vi bruke vårt gode skjønn.

I stabiliserende retning, altså i retning av større sikkerhet virker at vi kanskje må regne med at leiren i virkeligheten har vært noe fastere enn det vi har funnet i laboratoriet. Imidlertid vil kvikkaktige leirer bli lite omrørt ved selve prøvetakingen etter den metode som blir benyttet, med det såkalte sylindorbør eller stempelbør. De blir for det meste omrørt bare i en smal



Fig. 12. Leirfall ved Dale. 1944. Etterras. Mot nordvest. I forgrunnen oppdemt sjø, i bakgrunnen raset.

sone langs prøvesylinderens vegger. I selve raset blir slik leire omrørt vesenlig bare etter glideflatene, når da ikke leiren får anledning til å bli helt omrørt og renner vekk. De løseste av prøvene fra Lade var nettopp slik leire med antydning til kvikkaktighet. Der var da heller ikke videre tegn til omrøring da prøvene ble åpnet i laboratoriet.

I stabiliserende retning kommer videre den nærmeste av de tyske barakker, men en slik lett bygning vil ha svært liten virkning sammenliknet med det store jordtrykk. Ved raset ble den også bare ganske ubetydelig skadet. Videre er terrenget av en slik beskaffenhet at en glidesylinder ikke blir uendelig lang, men man må ta et visst hensyn til kohesjonen ved endeflatene.

Derimot virker i retning av mindre stabilitet for det første at tyskerne hadde gravd inn det omtalte bombesikre lagerrom i leirskråningens fot. Derved fjernet de en del av den naturlige motvekt mot en glidning av ovennevnte art. Dessuten skal skråningen av leiren der hvor det var gravd passasje rundt den nærmeste barakke, ha vært atskillig steilere enn $1:1\frac{1}{2}$



Fig. 13. Leirfall ved Lade. 13/8 1944. Eiterras. Mot vest. Til venstre Lade Allee 20, til høyre „Grønlien“, i bakgrunnen nr. 14, i forgrunnen nr. 22.

som er lagt til grunn for det beregnede snitt. På grunn av små uoverensstemmelser mellom de forskjellige originale kartskisser vedrørende plasseringen av de nærmeste barakker, er det videre en mulighet for at det var gravd ut atskillig mere leire i skråningsens fot enn det vi har regnet med. Enn videre gikk Ladebakkens kulvert av 4 m² tverrsnitt igjennom foten av bakken, noe som bevirker en betydelig avlastning av den naturlige motvekt, særlig da den førte lite vann. Ved raset ble da også kulverten hevet betydelig opp i været. Ennå en ting, det er rimelig å anta at vi ved våre beregninger ikke har funnet det aller ugunstigste snitt.

Som nevnt blir det en skjønnsak hvor meget som skal legges til og hvor meget som skal trekkes fra når resultatene skal overføres til praksis. Beregningene tjener i virkeligheten bare til støtte for det gode skjønn. Alt i alt må man i dette tilfelle gå ut fra at vedkommende leirskrånning på forhånd var lite stabil. Da så de uforsiktige gravninger kom til, må dette ha vært dråpen som fikk begeret til å flyte over, og det første ras, initial-

Tabell over leirprøvenes geotekniske data etter metode utarbeidet av Statens Järnvägers Geotekniska Kommissionen (1).

Lade, mai 1944.

D	V	V _t	d	H ₃	H ₁	H ₃ /H ₁	K	F	Anm.	
<i>Borhull 1.</i>										
2,5—				150			3,1		Tørrskorpeleire	
3,2—				107			2,4		Tørrskorpeleire innklemmt i prøven	
3,4—				104			2,3		Tørrskorpeleire innklemmt i prøven	
4,2—				280			5,0		Fast blåleire	
4,4—	21,8	27,8	1,99	95	20	4,8	2,1	30	Fast leire	
5,4—	23,9	31,4	1,93	91	15	6,1	2,0	32	Varvig leire	
6,4—	23,7	31,0	1,95	136	12	11,3	2,9	31	Fet leire	
7,2—				179			3,6		Varvig leire	
7,4—	24,0	31,5	1,94	140	15	9,3	3,0	33	Fet, varvig leire	
8,2—	22,9	29,7	1,97	110	20	5,5	2,4	33	Fet, jevn leire	
9,2—	20,9	26,5	1,99	220	31	7,1	4,2	31	Varvig leire	
9,4—	24,8	33,0	1,91	132	15	8,8	2,8	35	Fet, jevn leire	
10,2—				120			2,6		Fet leire med småstein	
10,4—	22,6	29,2	1,97	122	15	8,1	2,6	31	Fet leire med småstein	
<i>Borhull 2.</i>										
0—										
3,6—									Tørrskorpeleire	
4,2—				104			2,3		Tørrskorpeleire innklemmt i prøven	
4,4—	23,5	30,5	1,95	82	17	4,8	1,8	33	Fet, jevn leire	
5,2—									Meget fast, jevn leire	
5,4—	22,4	28,9	1,96	120	15	8,0	2,6	30	Jevn leire	
6,2—				79			1,8		Jevn, litt omrørt	
6,4—	22,2	28,5	2,00	90	6,9	13	2,0	28	Fast leire	
7,3—	24,6	32,6		38	1,67	23	0,9	28	Kvikkaktig leire	
7,4—	23,5	30,8	1,94	44	1,16	38	1,1	26	Kvikkaktig leire	
8,2—	22,3	28,6	1,96	60	1,85	33	1,4	25	Kvikkaktig leire	
8,4—				60	1,51	40	1,4		Kvikkaktig leire med småstein	
9,2—									Prøvehenteren var tom.	
9,4—									Grunnen antagelig den at det er så løs kvikkleire	
10,2—				220			4,2		Prøve defekt, sandvarv og småstein	
10,4—				Ikke bestemt						Prøve defekt, småstein, fast
11,2—	20,8	26,3		98	6,4	15	2,2	25	Leire med småstein	
11,4—	21,7	27,8	1,96	75	5,9	13	1,7	27	Leire med småstein	
12,2—	21,5	27,5	1,99	91	8,3	11	2,0	27	Leire med småstein	
12,4—				155			3,2		Leire med småstein	
13,4—	22,5	29,0	1,94	104	12	8,6	2,3	29	Jevn leire	

Lade, mai 1944.

D	V	V _t	d	H _s	H ₁	H _s /H ₁	K	F	Anm.
<i>Borhull 3.</i>									
4,3	21,0	26,7	2,03	41	4,9	8,4	1,0	25	Prøven omrørt, klebrig leire
5,3	22,0	28,2	1,97	86	4,1	21	1,9	26	Leire med småstein
6,3	22,8	29,5	1,96	92	4,5	20	2,1	27	Antydning til kvikkleire
7,3	20,4	25,6	2,01	88	10	8,8	2,0	26	Varvig leire
8,3	21,7	27,7	2,00	110	7,6	14	2,4	27	Fet, jevn leire På 9,20 stor stein eller mulighet for skrått fjell
<i>Borhull 4.</i>									
4,3				140			3,0		Tørr skorpeleire med stein
5,3	22,8	29,5	1,97	89	12	7,4	2,0	30	Jevn leire
6,3	21,7	27,8	1,98	72	2,4	30	1,6	35	Antydning til kvikkleire
8,3	22,7	29,4	1,97	40	0,98	41	1,0	24	Kvikkaktig leire
9,3	21,8	27,8	1,99	85	1,16	73	1,9	23	Kvikkaktig leire
10,3	22,5	29,0	1,98	93	3,5	27	2,1	27	Leire med småstein
12,3	24,2	32,0	1,93	57	2,0	29	1,3	28	Kvikkaktig leire
13,3	25,9	35,0	1,90	75	8,3	9,0	1,7	34	Jevn leire
14,3	25,7	34,7	1,88	60	7,6	7,9	1,4	33	Jevn leire
<i>Borhull 5.</i>									
5,3	24,0	31,5	1,94	82	13	6,3	1,9	32	Jevn leire
7,3	21,9	28,0	1,99	189	37	5,1	3,8	34	Fet, jevn leire
<i>Borhull 6.</i>									
5,3	21,9	28,1	2,01	109	12	9,1	2,4	29	Jevn leire
9,3	22,3	28,8	1,95	163	5,9	-	3,4	28	Prøve istykkerklemt
11,3	23,8	31,2	1,94	61			1,4		
				70	8,3	8,4	1,6	30	Leire med småstein
				70			1,6		
13,3	22,3	28,6	-	95	15	-	2,1	30	Gruslag og stein i prøven

Tegnforklaring se side 48.

skredet, løsnet. Nettopp derved oppstod forutsetningen for et større ras, idet der et øyeblikk eksisterte en steilkant som i sin tur var instabil. Ved grunnundersøkelsen viste det seg jo at et lag av løs, kvikkaktig leire strakte seg noenlunde konformt med overflaten oppover i rasgropen og endog inn under en del av det gjenstående terreng. På denne måte forplantet raset seg bakover, idet flak etter flak løsnet og gled ned inntil stabilere terrengforhold var nådd.

Årsakene til raset må således søkes i de naturlige forhold. Der måtte eksistere en leiravsetning som fra naturens side var disponert for glidninger av den beskrevne type. Virkningen av

Grunnbøringer ved Lade, utført under ingeniør Saxes ledelse, sept. 1944.
Borhullene A og B beliggende i gropen etter ras 30/7 1944.

D	V	V _t	d	H ₃	H ₁	k	F	Anm.
<i>Borhull A.</i>								
8,5	21,0	26,5	-	150	9,03	3,1	26,5	Leire med småsten og grus
10,5	20,6	26,0	2,01	128	8,25	2,8	26	Leire med småsten og grus
12,5	20,8	26,2	2,00	120	11,1	2,6	26,5	Leire, sandholdig
14,5	23,2	30,2	1,97	98	12,8	2,2	(31)	Leire, sandholdig
16,5	24,0	31,3	1,97	70	13,7	1,8	(32)	Leire med tynne sandvarv
<i>Borhull B.</i>								
2,5	-	-	-	-	-	-	-	Sterkt tørket, ikke undersøkt
+ 4,5	22,4	29,9	1,96	65	4,93	1,5	27	Leire med mindre sand
6,5	21,3	27,1	1,98	105	6,93	2,3	26	Leire, sandholdig
8,5	20,1	25,2	-	113	19,0	2,5	26,5	Delvis tørket prøve
10,5	22,7	29,4	1,97	75	2,04	1,7	26	Leire med grus og småsten

Tegnforklaring:

- D = dyp i m under overflaten.
V = vanninnhold i % av totalsubstans.
V_t = vanninnhold i % av tørrsubstans.
d = spesifikk vekt.
H₃ = holdfasthetstall i uomrørt prøve.
H₁ = holdfasthetstall i helt omrørt prøve.
k = skjærfasthet i tonn/m²
F = relativt finhetstall (et mål for vannbindingsevnen).
Anm. = kort karakteristisk av prøven.

de jordarbeider som var foretatt var meget små i forhold til de store krefter som utløses når et ras av så store dimensjoner kommer i bevegelse; men arbeidene har virket til å utløse raset.

Det er flere ting som direkte taler for at raset på Lade er skjedd på den måte som er antydnet. Således fortalte et av øyenvitnene (Skaven Haugs rapport av 17. april, øyenvitne nr. 1, fru Ottesen) »..... at terrenget nede ved bekken i den vestlige del av raset kom i bølgeformet bevegelse og forplantet seg oppover slik at hele gressbakken bølget«.

Det viktigste og i virkeligheten ganske entydige bevis for at raset begynte i den vestlige del og forplantet seg bakover, er bevegelsesretningen av en del gjenstander som fulgte med raset. Pilene på fig. 3 viser dette. Det at bevegelsesretningen

er på skrå i forhold til høydekurvene av det opprinnelige terreng i retning av det vestlige parti, og ikke loddrett på dem nedover bakken, viser oss at leirmassene først har vært fjernet fra et sted i den vestlige del av området, og at bevegelsen etter hvert er kommet i gang i denne retning.

For fullstendighets skyld må det nevnes at tyskerne hadde lagt ut en ganske stor fylling oppe i den nordøstre del av det område som raste ut. Vi vet ikke nøyaktig hvor stor fyllingen var, men den karakteriseres av folk på stedet som ganske betydelig, med en skråning på nedsiden av minst 5 m. Fyllingen var lagt ut som en terrasse omkring de barakkene som stod her. Den omtrentlige beliggenhet er antydnet på fig. 2. Sikkert har denne fylling forverret stabilitetsforholdene, men ifølge det foregående, særlig den karakteristiske bevegelsesretning, kan fyllingen ikke ha vært årsak til raset. Derimot har den sikkert gjort sitt til at rasgropen utvidet seg så langt mot øst og nord-øst, fordi leiren i denne del av rasområdet i følge leirprøvene fra borhull nr. 1 og borhullene merket A og B var forbausende fast og seig.

Utenom de her nevnte gravningsarbeider var det bare foretatt mindre ting som etter undertegnede mening ikke har hatt den ringeste betydning for raset. Det er forbausende å høre hvordan den alminnelige oppfatning, ikke bare av årsakene til dette ras, men til leirfall i sin alminnelighet, er at leirmassene er »oppbløtt« av vann fra en »vassåre«, fra en grøft, fra en bekk, etter et langvarig regnvær e. l. I dette tilfelle skulle rasårsaken være en oppbløtning av leirmassene fra en vannledning som var sprunget lekk, fra en kloakkledning hvor det samme var tilfelle, samt fra en grøft som nylig var åpnet. Denne påstand er endog blitt hevdet fra tysk kompetent hold. Undertegnede vil ikke absolutt benekte at naturfuktig, uforvitret leire kan oppta vann når dette settes under øket trykk, men en hver som har arbeidet med å kna leire vil ha erfaring for at det skal en særdeles omstendelig omrøring til for å oppnå en leire med høyere vanninnhold. Et annet eksempel: en liten bekk som graver i en leirskjæring vil ikke oppbløte leiren det ringeste. Leiren er like fast, erosjonen består i at det rinnende vann fjerner leirpartiklene en for en. Disse argumenter skulle være tilstrekke-

lige til å slå ihjel påstanden om at årsakene til våre leirfall skal søkes i en »oppbløtning« av leirmassene. Det vann som gjør kvikkeleiren flytende ved omrøring skriver seg fra leiren selv og er bare blitt frigjort ved den strukturforandringen som skjer i og med omrøringen. Dette gjelder vel å merke de dyptgående glidninger i leire. Overflateras er noe annet, idet leiren i de øverste meter er tørket og forvitret. Denne leire opptar lett vann og blir til en sørpe.

En annn sak er det at overflateras kan gi årsak til større dyptgående glidninger.

Det gjenstår å ta standpunkt til hvilken rolle bombenedslagene under flyangrepet på Nyhavna i juli 1943 har spilt for stabiliteten av leirmassene før raset. Sikkert er det at eksplosjonene ikke har forbedret forholdene. Men vi må anta at de umulig kan ha vært direkte årsak til »initialskredet«, fordi dette løsnet hele 8½ måned senere.

Det er en kjennsgjærning at leire som har vært omrørt vil gjenvinne en viss brøkdel av sin opprinnelige fasthet etter noen tid; ifølge Skaven Haugs undersøkelser (3) tar det ca. 30 dager før denne er oppnådd; det ser ut til at det tar like lang tid for alle slags leirer. Etter denne tid øker fastheten meget lite, og kommer aldri på langt nær opp mot den opprinnelige fasthet i uomrørt tilstand. Skulle nå bombenedslagene ha vært årsak til raset, måtte man vente at raset skulle løsnet momentant eller umiddelbart etter angrepet før den omrørte leire hadde fått tid til å festne seg.

Ved en bombeeksplosjon blir leiren i umiddelbar nærhet omrørt og slynges for en stor del vekk så der dannes et krater. Hvor langt fra eksplosjonssentret virkningen når vet man ikke, men det må avhenge sterkt av bombenes størrelse. Det synes å være særlig viktig om virkningen når ned til løse leirlag eller ikke. Man vet fra angrepet på Herøya 24. juli 1943 at leirfall kan løsne der hvor det faller særlig mange og store bomber. Tilfellet på Herøya ble omtalt av dr. Gunnar Holmsen i Norsk Geologisk Forening under møtet den 4. mai 1944, og er beskrevet i dette hefte som artikkel nr. 4.

Ved angrepet på Nyhavna ble det hovedsakelig anvendt mindre og middels tunge bomber. De øverste leirlag var faste,

og da de leirlag hvori glidningen senere foregikk lå dypt, må vi tro at de relativt få bombenedslag har hatt kun liten innvirkning på stabilitetsforholdene.

Da der var oppstått rykter om at mudringen for en av de store tyske ubåt-bunkere beliggende noen hundre meter fra stedet skulle være årsak til raset, lot stadsingeniøren i Trondheim sette i gang kontrollnivellement av alle oppmålingsvesenets fastmerker i dette område. Det kunne imidlertid ikke konstateres noen synkning av punktene.

I den nærmeste tid etter raset var der blitt utført en del arbeider, hvorav kun den foreløpige utjevning av raskantene til skråning 1 : 1½, slik som foreslått av Skaven Haug, har interesse for oss i denne forbindelse. Noen ytterligere utjevning av raskantene ble ikke foretatt. Etter noen små bevegelser de første dager ble alt stille i rasgropen en tid framover. Så kom den 26. juli et stort eterras hvorved flere av de hus som sto på kanten av raset fra 14. april gikk med. Noen dager senere, den 30. juli, fulgte et nytt eterras. Omkretsen av rasgropen var nu blitt slik som det framgår av fig. 4. Punktene i den basislinje som først var stukket ut tvers over den gamle rasgropen forskjøv seg herunder i retning som pilene viser på fig. 4, og den forreste kant av raset nede ved surstoffabrikken rykket noen meter fram, og overflaten av det gamle ras ble hevet noen meter på dette sted. For øvrig var der små forandringer. Heller ikke denne gang rant det utover noe kvikkleire, men man kunne se flere jordflak som hadde satt seg etter bestemte glideflater, og langs disse var der sine steder presset opp litt kvikkaktig leire. Forskyvningene av leirmassene i den vestlige del av rasområdet gjorde at man helt måtte omlegge Ladebakkens løp nedenfor Vaskeriet. Som det kan sees av kartskissen fig. 4 synes det som om den store oppskjøvete voll med kote 13 var stabil, idet leirmassenes bevegelse har bøyet av og gått utenom denne voll.

Det er verd å legge merke til bevegelsene av de tidligere utgledne masser. Mens det første skred hadde en tydelig tilbakeskridende forplantningsretning, er det tydelig at massene kom i ny bevegelse ved eterrasene, denne gang med en fremadskridende forplantningsretning. Også Fredrik Vogt (10) antar

at en slik fremadskridende forplantningsretning er mulig ved særlig løse masser.

Undertegnede ble straks varslet om disse etterras, og var til stede i dagene fra 11. august og utover. For om mulig å hindre ytterligere etterras, gikk man nu straks i gang med å jevne ut raskantene. Etter undertegnedes forslag ble raskantene skavet av således at de fikk en skråning av 1 : 3, og den avskavete masse ble lagt utover i rasgropen fra foten av raskanten med en skråning av 1 : 7. Disse masser skal virke som en motvekt mot en eventuell lokal setning av en del av raskanten. Under et senere besøk i slutten av november 1944 var dette arbeid avsluttet. Man hadde da i alt flyttet omkring 10 000 m³ jord, og hele rasgropen frambød da et ganske tiltalende syn.

Senere er det ikke konstatert noen forandringer (1/9 45).

Trondheim kommune lot utføre en rekke dreieboringer i rasområdet utover høsten. Resultatene har liten interesse utenom dette spesielle tilfelle. Der ble også tatt opp noen leirprøver i to borhuller merket A og B på skissen fig. 4. Leiren var allminnelig med en skjærfasthet på omkring 2,0—2,4 tonn/m² og var uten kvikkaktige egenskaper.

Der ble etter 12. august satt i gang presisjonsnivellement av en del terrengpunkter (jernrør slått ned i jorden til frostfritt dyp). Der er senere ikke konstatert noen bevegelser av disse punkter. Nivellementet kom til nytte senhøstes 1944, da en av de tyske geologer forlangte revet eller fraflyttet ytterligere en del hus med den begrunnelse at han hadde iaktatt en stor sprekk i jorden ovenfor rasgropen på oppsiden av Jarlsborgveien. Her, sa han, vil snart et nytt ras inntreffe, og de truede hus fraflyttes. Strinda kommune kunne da henvise til sine presisjonsnivellementer og derved bevise at ingen bevegelser hadde funnet sted. Undertegnede fikk anledning til å se den farlige sprekk. Det var sprekker i støttemuren under en veranda som ikke var fundamentert frostfritt, og telehivingen hadde gjort at muren slo sprekker.

For en nøyere gjennomgåelse av de forskjellige metoder ved grunnundersøkelsene i marken og i laboratoriet er det nødvendig å henvise til i litteraturen (9) med henvisninger.

Summary.

The Clay-Slide by Lade Near Trondheim 1944.

On April 11, 1944 a clay-slide took place near Ladehammeren N of Trondheim. About 5 acres of the field between Lade Allé and the Ladebekken streamlet slid down. Liquid clay was not visible.

There was great uncertainty about the causes of this slide.

On July 23, 1943 a heavy Allied bomb raid took place on the German u-boat base "Nyhavna", situated a little W of the slide, and a few bombs, marked by circles in fig. 2 fell on the area in question. The German military geologists gave the conclusion that bomb explosions caused the clay-slide 8½ month later.

In the opinion of Norwegian geologists, however, among them the author of this paper, the clay-slide was mainly due to natural conditions, some German arrangements, however, having caused "the initial slide".

During the summer 1944 borings were carried out. Undisturbed clay samples were taken after the method of the Swedish "Geotechnical Commission" (1). The author has tried to reconstruct the original stability conditions of the clay deposit, an experiment in which a pre-existing map, scale 1 : 1000, has been of great value. The stability calculations resulted in the conclusion above mentioned, which is in good accordance with a de visu witness: The slide began in the lower western part of the area. The arrows in fig. 3 also indicate this fact.

From 12th of April to 25th of July all was quiet in the territory. On July 26. and 30. new slides took place in the upper part, causing great damages on buildings. About 1¼ acre was dislocated, but small displacements were observed all over the area (see fig. 4). But very little liquid clay was seen. Fig. 1—4 illustrate the different stages of the catastrophe.

In order to reduce the chance for later slides, the ridge was given a slope of 1 : 3. In this way about 10 000 m³ of firm clay was taken from the vertical precipice and brought into the displaced territory with a slope of 1 : 7.

Later on no displacements have been observed.

Litteraturfortegnelse.

1. Statens Järnvägars Geotekniska Kommissionen, Slutbetänkande. Stockholm, den 31. mai 1922.
2. Sv. Skaven Haug: Skjærfasthetforsøk med leire. Medd. fra N. S. B. nr. 6, 1931.
3. Sv. Skaven Haug: Svevende trepelers bæreevne i leire. Medd. fra N. S. B. nr. 2, 1940.
4. Sv. Skaven Haug: Grunnundersøkelser. Medd. fra N. S. B. nr. 4, 1940.
5. Sv. Skaven Haug: Oversikt over anvendt geoteknikk. Medd. fra N. S. B. nr. 5, 1940.
6. Gunnar Holmsen: Lerfaldene ved Kokstad, Gretnes og Braa. N. G. U. nr. 132, 1929.
7. Gunnar Holmsen: Lerfall i årene 1930—1932. N. G. U. nr. 140, 1934.
8. Gunnar Holmsen: Våre leravsetninger som byggegrunn. N. G. U. nr. 151, 1938.
9. Gunnar Holmsen og Per Holmsen: Ingeniørgeologiens anvendelse på løse masser. Tidsskr. for kjemi, bergvesen og metallurgi nr. 2, febr. 1945.
10. Fredrik Vogt: Om store leirskred i Norge. Foredrag trykt i: Medd. delande nr. 8 från Vattenbyggnadsinstitutionen vid Kungl. Tekniska Högskolan 1943.