

**Rapport**

**R 35:1971**

**Skiffersvällningen i  
Östersundsområdet**

**Curt-Erik Jangdal**

**Byggforskningen**

# Skiffersvällningen i Östersundsområdet

## Curt-Erik Jangdal

I Östersundsområdet har sedan några tiotal år skador av ovanligt slag konstaterats på ett flertal byggnader. Det först uppmärksammade fallet var Nya Kyrkan, byggd på 1930-talet, där betonggolv på mark deformerades och bröts sönder. Det förekom livliga diskussioner angående orsakerna men några undersökningar lär inte ha gjorts. Som vanligt skyllde man på dåligt arbetsutförande, men stadens dåvarande byggnadskontrollant var av annan mening. Hans misstankar riktades mot undergrunden bestående av skiffer, men han hade svårt att vinna gehör för sin uppfattning. Senare forskning har emellertid bekräftat misstanken om skiffers skuld till de inträffade byggnadsskadorna.

Föreliggande rapport redogör för ett antal inträffade skadefall p.g.a. skiffersvällning samt ger en beskrivning av de metoder som praktiskt använts för att förhindra skiffersvällning. Metodernas användbarhet och lämplighet diskuteras och vissa rekommendationer görs på grundval av utförda försök.

### Bakgrund

Problemet med skiffersvällning förekommer i Skandinavien förutom i Östersundsområdet, se FIG. 1, även i Oslo-området, där man ägnat denna fråga stort intresse.

Det som gjort östersundsskiffen intressant är framförallt de byggnadsmässiga skador den åstadkommit. P.g.a. att Östersunds stad i huvudsak vilar på denna bergart har problemen koncentrerats dit, men skador förekommer även på platser utanför staden. Skadorna uppkommer i samband med skiffers vittring, som tränger allt längre ned i lagren. Beroende på vittningsgraden varierar vittringsprodukten från jordliknande konsistens vid ytan till fast berg. I samband med vittringen bildas gips varvid det sker en volymökning. Denna påverkar byggnader som grundlagts på den svällande skiffen.

De byggnadsmässiga skador som skiffersvällningen i Östersundsområdet ger upphov till är i huvudsak koncentrerade till källarvåningarna. Vanligen buktar golv på mark upp och spricker. Som följd härav kan skador

uppträda även på mellanväggar, inredningar och dörrar.

Sedan 1962 har undersökningar av skiffersvällningen pågått i Östersundsområdet. Efter en inventering av kända skador har försöken inriktats på att verifiera de norska undersökningarna genom att mäta svällningens tidsförlopp och storlek samt att utvärdera lämpliga tekniska åtgärder. Erforderliga kemiska analyser har utförts av Norges Geotekniska Institut (NGI) och Statens Provvningsanstalt. Det primära syftet med undersökningarna har varit att finna lämpliga byggtekniska metoder att förhindra skador p.g.a. skiffersvällning. Svällningen kan mot-

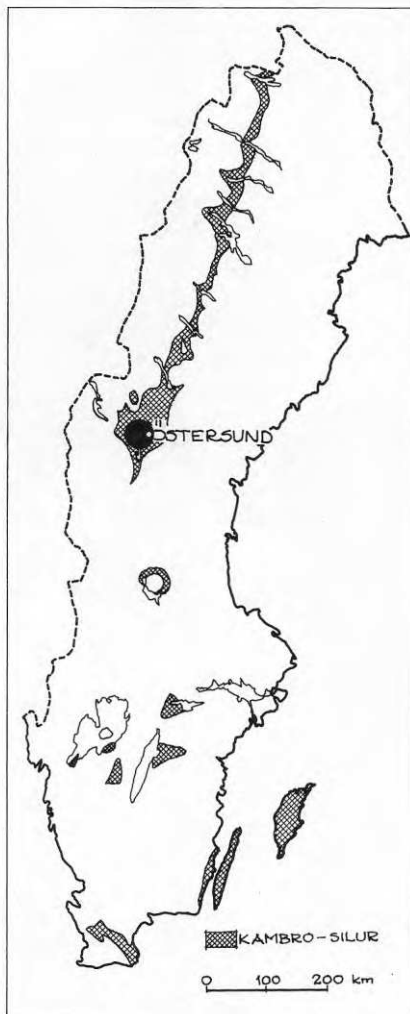


FIG. 1. Kambro-silurförekomster i Sverige. Den svarta cirkeln anger det område kring Östersund inom vilket författaren funnit och studerat skador förorsakade av skiffersvällning.

# Bygghforskningen

## Sammanfattningar

### R35:1971

Nyckelord:

skiffersvällning (Östersundsområdet), skador, förebyggande metoder grundläggning, skiffergrund grundkonstruktioner, deformationer, skador skiffer (Sverige), förekomst, användning

Rapport R35:1971 avser anslag C 122:3 från Statens råd för byggnadsforskning till rektor Curt-Erik Jangdal.

UDK 69.059.22  
624.131.542  
SFB A

Sammanfattning av:

Jangdal, C-E, *Skiffersvällningen i Östersundsområdet*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R35:1971, 116 s., ill. 18 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, 111 84 Stockholm  
Telefon 08-24 28 60

Grupp:  
konstruktion

verkas på flera, principiellt olika, sätt. Nedan redogörs kortfattat för de i rapporten beskrivna metoderna vilka praktiskt prövats i Östersundsområdet.

### Åtgärder mot skiffersvällning

Vid ett tillfälle fann man att den del av en byggnad som inrymde en kyl- och frysanläggning inte utsatts för någon skiffersvällning till skillnad från angränsande delar. I detta fall har berggrunden blivit nedkyld under frysanläggningen. Härigenom minskades den kemiska reaktionens hastighet, så att inga skador uppstod på byggnaden i denna del. Av ekonomiska skäl torde en metod med nedfrysning av berggrunden ha högst begränsad användning.

Med hög belastning på undergrunden kan svällningen reduceras. Vid hittills gjorda försök har belastningen på undergrunden uppgått till så högt värde

som 28 Mp/m<sup>2</sup>, men har trots detta inte förmått att helt motverka svällningen. Lyftningen på de bärande delarna blir dock väsentligt mindre än på omgivande golv på mark. I kombination med fribärande golv bör metoden i vissa fall kunna vara användbar.

I källarvåningar med låga krav på golvets planhet kan plattor eller tegel i vissa fall vara lämplig golvbeläggning. Risken för skador på icke bärande väggar måste dock beaktas även vid detta utförande.

För skiffers kemiska omvandling erfordras samtidigt närvaro av vatten och syre. Då östersundsskiffern är mycket rik på sprickor kan det anses som praktiskt omöjligt att utestänga vatten. Försöken har därför koncentrerats på att utestänga syret.

I ett fall har den frilagda skifferytan täckts med plastfolie under betonggolvet. I ett annat har skiffern täckts

med sprutbetong. Dessa försök har inte förmått hindra skiffern från att svälla. I ett tredje fall har lera packats mellan yttergrundmuren och skifferytan i schakten, i avsikt att hålla grundvattennivån uppe. Inte heller detta försök har haft avsedd effekt.

Vid två olika byggnader har grundkonstruktionerna utformats som grunddammar med skifferytan täckt av vatten. I den ena byggnaden skedde infiltrationen med grundvatten och i den andra med vattenledningsvatten. Båda utförandena har visat sig framgångsrika och kan rekommenderas. En principskiss av en grunddamm visas i FIG. 2.

Rapporten framläggs som vetenskaplig avhandling. Dess första del utgör slutredovisning över erhållet byggforskningsuppdrag. Det ytterligare material som därefter framkommit har placerats som supplement sist i rapporten.

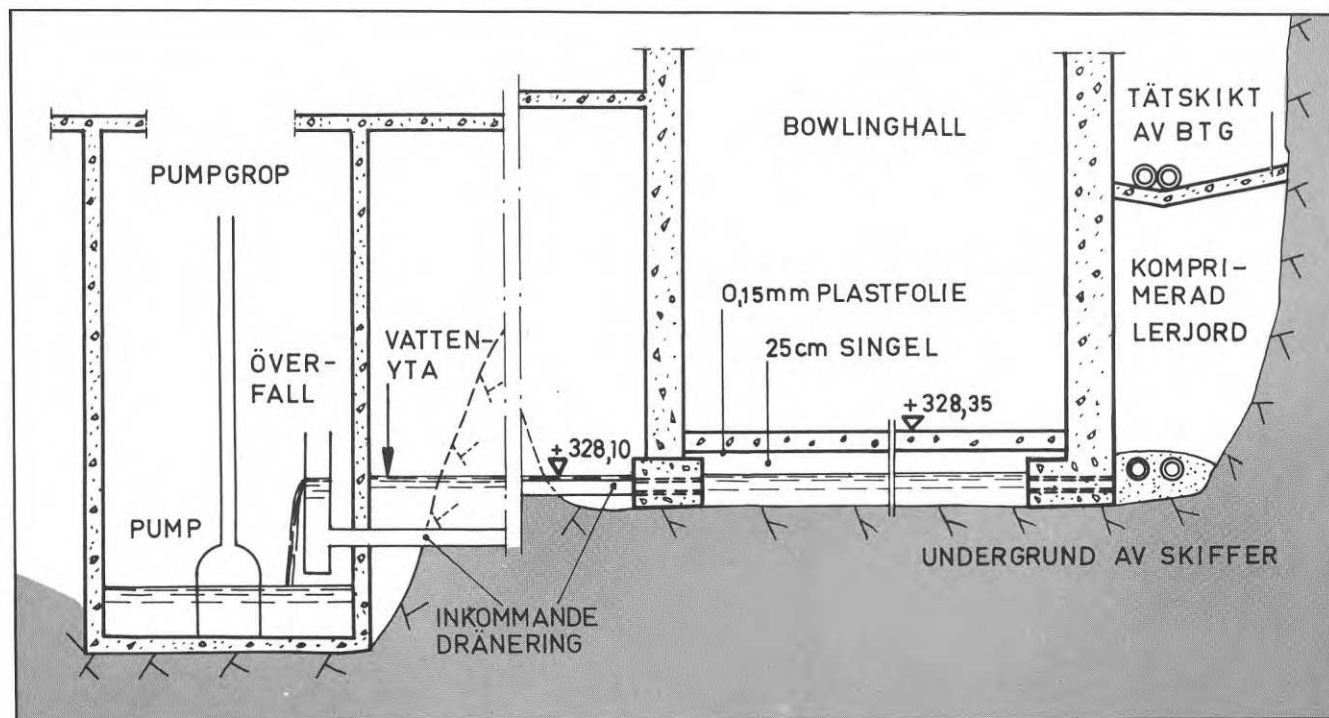


FIG. 2. Grundkonstruktion utformad som grunddamm.

# Swelling shale in the Östersund area (Sweden)

Curt-Erik Jangdal

Since some ten or twenty years, damages of an unusual kind have been noticed to a number of buildings in the Östersund area (Sweden). The first case noticed was *Nya Kyrkan* (New Church) erected in the 1930's, in which the concrete floor, cast directly on the ground, was deformed and broken to pieces. There was a keen debate on the reasons but no investigation was said to have been carried out. As usually bad workmanship was blamed though the Town Clerk to the Board of Works at that time was of another opinion. He became suspicious of the substratum that consisted of shale, but it was difficult for him to find ready listeners. Later research has, however, confirmed the suspicion of the shale causing the damage.

This report accounts for a number of cases of damage that have occurred because of swelling shale. It also gives a description of the methods that have been practically used to prevent the shale from swelling. The usefulness and suitability of the methods are discussed and certain recommendations are put forward on the basis of the tests made.

## Background

The problem with swelling shale appears in Scandinavia, apart from the Östersund area, see FIG. 1, also in the Oslo area, where great attention has been paid to this question.

What has made the Östersund shale so interesting is above all the damages to buildings that have been caused. Because of the fact that the town of Östersund is lying mainly on this rock, the problems have been concentrated there, but damages also occur at places outside the town. The damages originate in the disintegrating process of the shale that penetrates deeper into the strata. Depending on the degree of disintegration the disintegration product varies from a soil resembling consistency at the surface, to solid rock. In connection with the disintegration gypsum is formed, whereby an expansion of the volume takes place. This affects buildings that have been founded on the swelling shale.

The damages to buildings that have been caused by the swelling shale in the Östersund area are mostly concentrated to the basements. Usually floors cast directly on the ground bulge and crack. As a consequence damages may appear

to partition walls, fittings and doors.

Since 1962 studies of the swelling of shale have been carried out in the Östersund area. After an inventory of known damages, the tests have been directed on verifying the Norwegian investigations by measuring the time for the swelling as well as its extent and to establish suitable technical measures. The necessary chemical analyses have been done by the Norwegian Geotechnical Institute (NGI) and the National Swedish Institute for Materials Testing. The primary purpose of the investigations has been to find suitable structural engineering methods to prevent damages caused by swelling shale. The swelling could be counteract-



FIG. 1. Cambrio-silurian beds in Sweden. The black circle indicates the area around Östersund in which the author found and studied damages caused by swelling shale.

## National Swedish Building Research Summaries

R35:1971

Key words:

swelling shale (the Östersund area, Sweden), damages, preventive methods foundation, shale ground foundations, deformations, damages shale (Sweden), deposits, use

Report R35:1971 has been supported by Grant C 122:3 from the National Swedish Council for Building Research to Curt-Erik Jangdal.

UDC 69.059.22  
624.131.542  
SfB A

Summary of:

Jangdal, C-E, 1971, *Skiffersvällningen i Östersundsområdet*. Swelling shale in the Östersund area. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R35:1971, 116 p., ill. 18 Sw.Kr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, S-111 84 Stockholm  
Sweden

ed in several, principally different ways. The methods described in the report and which have been practically tried in the Östersund area, are accounted for in brief below.

### Measures against swelling shale

On one occasion it was found that the part of a building that housed a cooling and freezing plant was not exposed to any swelling of shale as distinguished from adjacent parts. In this particular case the rock was cooled down under the plant. Because of this the chemical process was slowed down so that no damages occurred to this part of the building. Of economical reasons a method applying cooling down of the rock would find very limited application.

By a heavy load on the substratum, the swelling may be reduced. During tests made up to now, the load on the substratum has reached as high a value as  $275 \text{ N/m}^2$ , but in spite of this it has

not been possible to counteract the swelling fully. However, the heave of the loadbearing parts is considerably smaller than that of the adjacent floor cast directly on the ground. In combination with cantilever floors the method ought to be useful in certain cases.

In basements without too high demands on the levelness of the floors, slabs or bricks could in certain cases be a suitable floor covering. The risk of damages to non-supporting walls, however, has to be considered when applying this method as well.

For the chemical conversion of shale the presence of both water and oxygen is required. As the shale in the Östersund area is very rich in fissures, it may be regarded as practically impossible to debar water. The tests have therefore been concentrating on trying to exclude the oxygen.

In one case the exposed shale surface has been covered with a plastic film

under the concrete floor. In another case the shale was covered with sprayed concrete. These experiments have not been able to prevent the shale from swelling. In a third case clay has been packed into the shafts between the outer foundation wall and the shale in order to keep the water table high. Nor had this experiment the desired effect.

For two different buildings the foundation was designed in the form of submerged weirs with the shale surface covered with water. In one building, the infiltration was done with subsoil water and the other with tap water. Both systems have proved successful and can be recommended. An outline sketch of a submerged weir is shown in FIG. 2.

The report is presented as a scientific dissertation paper. Its first part forms the final account for a building research assignation. Further material that has come to light has been placed as a supplement to the report.

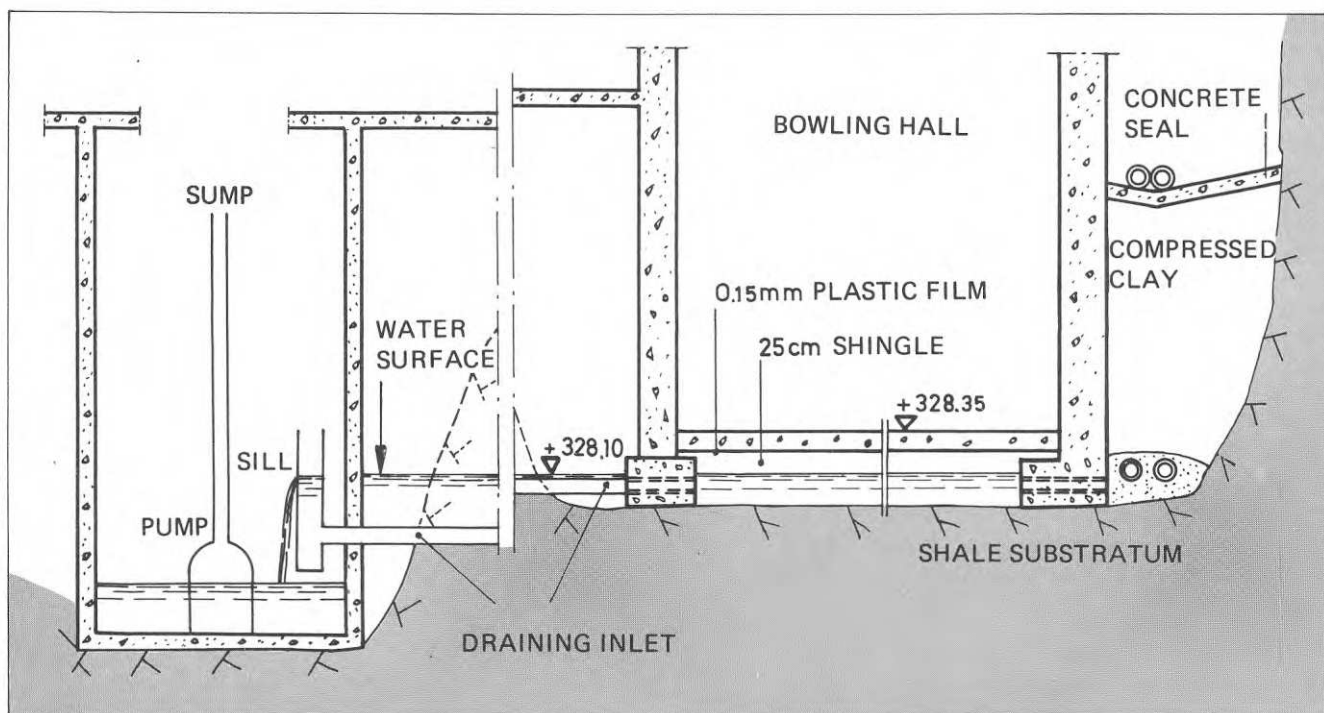


FIG. 2. Foundation in the shape of a submerged weir.

Rapport R35:1971

SKIFFERSVÄLLNINGEN I ÖSTERSUNDSOMRÅDET

SWELLING SHALE IN THE ÖSTERSUND AREA

av Curt-Erik Jangdal

Denna rapport avser anslag C 122:3 från Statens råd för byggnadsforskning till rektor Curt-Erik Jangdal, Luleå. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.



## FÖRORD

Intresset för skifferproblemen i Östersund väcktes år 1961, då jag som konsult hade att utforma de statiska konstruktionerna för ett antal objekt i staden. Orsakssammanhangen var otillräckligt kända och några praktiskt användbara metoder att motverka skadlig svällning hade inte utarbetats. Inom loppet av några år uppkom flera fall av allvarliga skador på byggnader orsakade av skiffersvällningen. I några fall gällde det att vid nybyggnader utforma metoder att förhindra skadlig svällning.

Tack vare välvilligt tillmötesgående från kommunala myndigheter, fastighetsägare, konsulter och enskilda samt med stöd från Statens Råd för Byggnadsforskning har det varit möjligt att genomföra denna vittomfattande och tidskrävande undersökning.

Till alla de som på ett eller annat sätt bistått mig i arbetet framföres härmed ett varmt tack.

Slutligen är det min förhoppning att denna rapport skall underlätta för de som i framtiden möter de problem, som här behandlats.

Luleå i augusti 1971

Curt- Erik Jangdal



## INNEHÅLL

	CAPTIONS . . . . .	6
1	ALUNSKIFFERNS GEOLOGI OCH KEMI . . . . .	11
1.1	Inledning och historik . . . . .	11
1.2	Alunskifferns bildning . . . . .	11
1.3	Alunskifferns egenskaper och tekniska användning	15
1.4	Alunskifferförekomster . . . . .	17
1.4.1	Skåne . . . . .	19
1.4.2	Öland . . . . .	21
1.4.3	Östergötland . . . . .	22
1.4.4	Närke . . . . .	25
1.4.5	Västergötland . . . . .	27
1.4.6	Norrland . . . . .	29
1.4.7	Skiffern i Östersundsområdet . . . . .	31
1.4.8	Skifferns kemi . . . . .	33
2	SKADOR . . . . .	35
2.1	Kemisk nedbrytning av skiffer . . . . .	35
2.2	Kemiska angrepp på betong . . . . .	37
2.3	Byggnadsskador . . . . .	38
2.3.1	Skador på betonggolv . . . . .	38
2.3.2	Skador på väggar . . . . .	41
2.3.3	Inventering av skador . . . . .	43
2.3.4	Olika skadetyper . . . . .	44
3	LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR . . . . .	51
3.1	Kemiska analyser . . . . .	51
3.2	Svällningsmätningar . . . . .	54
3.2.1	Sambandet magnetkisinnehåll - svällning . . . . .	55
3.2.2	Sambandet vatteninnehåll - svällning . . . . .	56
4	FÄLTUNDERSÖKNINGAR . . . . .	57
4.1	Beskrivning av området . . . . .	57
4.2	Händelser av betydelse för mätningarna . . . . .	61
4.3	Temperatur och nederbörd under perioden . . . . .	63
4.4	Mätning av grundvattenstånd . . . . .	64
4.5	Mätning av svällningsrörelser . . . . .	70
4.5.1	Mätning med mätklocka . . . . .	70
4.5.2	Mätning med avvägning . . . . .	73
4.6	Mätning av svällkrafter . . . . .	76
4.7	Slutsatser . . . . .	78
4.7.1	Sambandet nederbörd-grundvattennivå . . . . .	78
4.7.2	Sambandet grundvattennivå-svällning . . . . .	79
4.7.3	Sambandet svällning-svällkraft . . . . .	82
5	FÖRSÖK MED FÖREBYGGANDE ÅTGÄRDER . . . . .	83
5.1	Allmänt . . . . .	83
5.2	Försök med att utestänga syre . . . . .	85
5.2.1	Infiltration med grundvatten . . . . .	85
5.2.2	Infiltration med vattenledningsvatten . . . . .	87
5.2.3	Tätning med lera . . . . .	92
5.2.4	Tätning med sprutbetong . . . . .	94
5.2.5	Tätning med plastfolie . . . . .	100
5.3	Källargolv på mineralull . . . . .	104

5.4	Kylda utrymmen på skiffer . . . . .	104
5.5	Alternativ golvkonstruktion . . . . .	105
SUPPLEMENT		
6	RÖRELSEMÄTNINGAR VID INFILTRATION MED VATTEN- LEDNINGSVATTEN . . . . .	109
6.1	Allmänt . . . . .	109
6.2	Mätning med avvägning . . . . .	109
6.3	Mätning med mätklockor . . . . .	109
6.4	Slutsatser . . . . .	109
7	LANDHÖJNINGEN I SKIFFEROMRÅDET . . . . .	113
7.1	Allmänt . . . . .	113
7.2	Profiler över landhöjningen . . . . .	113
7.3	Slutsatser . . . . .	115
	LITTERATUR . . . . .	116

## CAPTIONS

1. 1. Chronological table of the last 700 million years.
2. Deposition conditions for sediments during the Cambrian period.
3. Cambrio-silurian deposits in Sweden.
4. Deposits of alum shale in Skåne.
5. Deposits of alum shale on Öland.
6. Deposits of alum shale in Östergötland.
7. Section through the bedrock in Östergötland.
8. Deposits of alum shale in Närke.
9. Deposits of alum shale in Västergötland.
10. Section through the bedrock in Västergötland.
11. The bedrock in the Storsjö area.
12. Cambrio-silurian deposits in the Storsjö area.
13. Schematic profile through the Storsjö area in Jämtland, Sweden
14. Excavation in shale rock.
2. 1. Tests on solid and weathered Östersund shale.
2. Damage to test beams of concrete with pyritic ballast.
3. Damage to edge of concrete floor adjacent to shale rock face at the Hissmofors power station.
4. Section through the building. The heave in the floor is indicated by dotted lines.
5. The floor regarded as a beam on two supports loaded by a uniformly distributed load.
6. Device for measurement of floor movements.
7. Inventory of damages caused by swelling shale in Östersund.
8. View of items 13 and 12, the Österäng school and Nya kyrkan where the first damages due to swelling shale were found.
9. Different types of damages.
10. Damage to floor and wall at the Hissmofors power station.
11. Damage to basement floor at Österäng school.
12. Damage to internal wall in the basement at No. 6 in the "Magister" city block.
13. Jammed door at No. 6 in the "Magister" city block.
14. Detail of door in Fig. 13.
15. Chipped concrete floor near the basement door.

16. Timber chute at the Hissmofors power station which has been damaged by shale heave. A plate to catch leakage water can be seen at the bottom.
  17. Damaged hot air duct with an area of  $1 \text{ m}^2$  at the Hissmofors power station.
  18. External wall of basement at Österäng school which has been reinforced against earth pressure by steel sections.
3. 1. Analysis of the sulphur content of the Östersund shale.
  2. Sampling sites for chemical analyses.
  3. Device for laboratory measurement of the swelling. The device was later mounted on a thick steel plate.
  4. Relationship between magnetic pyrites content and swelling.
  5. Swelling movements due to repeated wetting and drying of shale sample.
- 4 1. The investigation area in central Östersund.
  2. View of the area investigated, from the south along Kyrkgatan.
  3. Plan and section of the area investigated.
  4. Observation pit at No. 6 in the "Magister" city block. The observation tube F may be seen in the foreground.
  5. Diagram showing precipitation and temperature.
  6. Precipitation during the infiltration period 1/5 - 1/11.
  7. Measurement point for subsoil water observations near the north-west corner of the Kyrkgatan-Hamn-gatan crossing.
  8. Tube for ground water measurements with hole and cover.
  9. Measurement of water table. The total length to the top edge of the tube is read off.
  10. Measurement of water table. The wet portion of the metal rod is measured with a folding rule.
  11. Diagram showing variations in water table.
  12. Diagram showing variations in water table.
  13. Dial gauge affixed to bracket bolted to load-bearing wall.
  14. Dial gauge for measurement of crack width in load-bearing concrete wall of air raid shelter.
  15. Measurement of variation in crack width in load-bearing concrete wall.
  16. Distance between gauge point and load-bearing wall.
  17. Diagram showing measurements with dial gauges.

18. Points on the floor at No. 6 in the "Magister" city block which were levelled.
19. Floor levels (in metres) at No. 6 in the "Magister" city block.
20. Diagram showing levels at points 6-10.
21. Plan showing points 6-10.
22. Equipment used in test loading.
23. Diagram showing test loading.
24. Dispersion of pressure underneath a square base plate.
5.
  1. Detail of excavation in Östersund shale.
  2. Building with bowling hall in the basement.
  3. Construction of a submerged weir underneath the bowling hall.
  4. Diagram showing dial gauge measurements of floor movements.
  5. The lowest basement floor at No. 8 in the "Magister" city block.
  6. Section through basement wall and floor with sump.
  7. Filler tube with separate water meter.
  8. Observation tube in floor for checking the water level.
  9. Sump with sill.
  10. Diagram showing accumulated infiltration of water from the water pipe.
  11. Limited cracking in the basement floor.
  12. Section through No. 8 "Månadsmötet" showing i.a. clay puddle seal.
  13. Ground water levels at different times.
  14. Downstream view of the Hissmofors power station. Part of the old power station from the beginning of this century may be seen at the extreme left.
  15. Shale surface covered by sprayed concrete.
  16. Crack in the sprayed concrete.
  17. Damage to timber chute caused by uneven heave. Note the matchbox at the top of the chute.
  18. Deformation in the floor of the machine hall.
  19. Damaged wall in the generator pit.
  20. Spiral staircase in the machine hall with the upper part of the measuring equipment.
  21. Detail of measuring equipment.
  22. Bar diagram showing levels of the machine hall floor over the period 1965-68.

23. View of storage building.
  24. Buckled steel section in non-load bearing wall.
  25. Detail of buckled steel section.
  26. Diagram showing dial gauge measurements.
  27. Levelling results.
  28. Concrete slabs on a sand bed.
6. 1. Plan indicating measuring points at No. 8 in the "Månadsmötet" city block.
    2. Levelling of the floor at No. 8 "Månadsmötet".
    3. Diagram showing measurements with dial gauges at points XI - XIII.
  7. 1. Map showing land elevation in Sweden during the period 1900 - 1970. Mean in mm per year.
    2. Profile of land elevation Storlien - Östersund, Sweden.
    3. Detail of profile in Fig. 2.



# 1. ALUNSKIFFERNS GEOLOGI OCH KEMI \*)

## 1.1 Inledning och historik

Till metamorfa bergarter räknas ett flertal olika skifferar, såsom lerskiffer, alunskiffer och glimmerskiffer. Östersunds-skiffern har många likheter med alunskiffern. Därför har den vanligen benämnts alunskiffer, trots att den tillhör en ca 100 miljoner år yngre formation än den egentliga alunskiffern. Bägge skifferarterna återfinns emellertid i kambrosiluravlagringarna längs fjällkedjan. Alunskiffern har fått sitt namn av att den från slutet av 1500-talet användes för tillverkning av alun, som användes vid färgning av tyger, vid garvning och för limning av papper.

## 1.2 Alunskifferns bildning

Kambrosilurtidens placering i den geologiska eran visas översiktligt i tabell 1, där även viktiga hållpunkter i den svenska geologins historia inlagts.

miljoner			
år			
0	Kvartär	}	Flera istider, Sista inlandsisen försvinner från mellansverige för ca 10.000 år sedan.
	Tertiär		
100	— Krita	}	Större delen av Sverige land som utsättes för erosion och peneplanbildning
	— Jura		
200	— Trias		
	— Perm		
300	— Karbon		
400	— Devon	}	Fjällen uppveckas.
500	— Silur		
600	— Ordovicium	}	Avsättning av sediment över stora delar av södra och mellersta Sverige.
	— Kambrium		
	Eokambrium		Avsättning av sediment i en geosynklinal väster om Sverige. Erosion och peneplanbildning.
	Jotnium		
	↓		
	Urberget		

Tabell 1.

Kronologisk uppställning över de senaste 600 miljonerna år.

\*) sammanställning av litt. 1-9,11,15.



Man antar att liv på jorden uppstod före kambrium. Trots den långa tidrymden före kambrium känner man så gott som inga bestämbara växt- och djurlämningar från denna tid. Detta kan sammanhånga med de nedisningar, som skedde på vissa delar av jordklotet under eokambrium, tiden närmast före kambrium. I och med kambrium uppträder nämligen plötsligt väl bevarade lämningar av en högt utvecklad fauna. Radiometriska åldersbestämningar tyder på att nedisningen började för mer än 600 miljoner år sedan. Brakiopoder är de första bevarade fossilen av högre organiserade djur och där de börjar påträffas i lagerföljden har gränsen mot kambrium satts. Från och med kambrium kan man därför i fortsättningen använda sig av fossilen för identifiering och åldersindelningen av formationerna.

Under inledningen till kambrium påbörjas nedvittringen och utplaningen av skandinaviska kontinentalblocket efter de eokambriska rörelserna. Sand och leravsättningar sker i det s.k. kambriska havet. Vittringen synes ha försiggått i ett tämligen fuktigt (humitt) klimat i motsats till vittringen under jotnium och eokambrium som försiggick i torrt (aritt) klimat. På grund av de stora temperaturväxlingarna mellan dag och natt i ett aritt klimat gav den eokambriska vittringen ett rött fältspatrikt grus. Under humitt klimat däremot vitttrar fältspaten till vit kaolinlera och i järnföreningarnas grå eller gröna färger.

Under kambrosilur täcktes norra Europa till stora delar av hav där sediment avsattes. I Skandinavien och Baltikum började alunskifferbildningen i mellankambrium och pågick en bit in i ordovicium. Den återfinns i väster bl.a. i Storsjöområdet och Oslotrakten, vilket liksom de östliga kambrosiluravlagringarna redovisas i figur 2. Jämför även tabell 12.

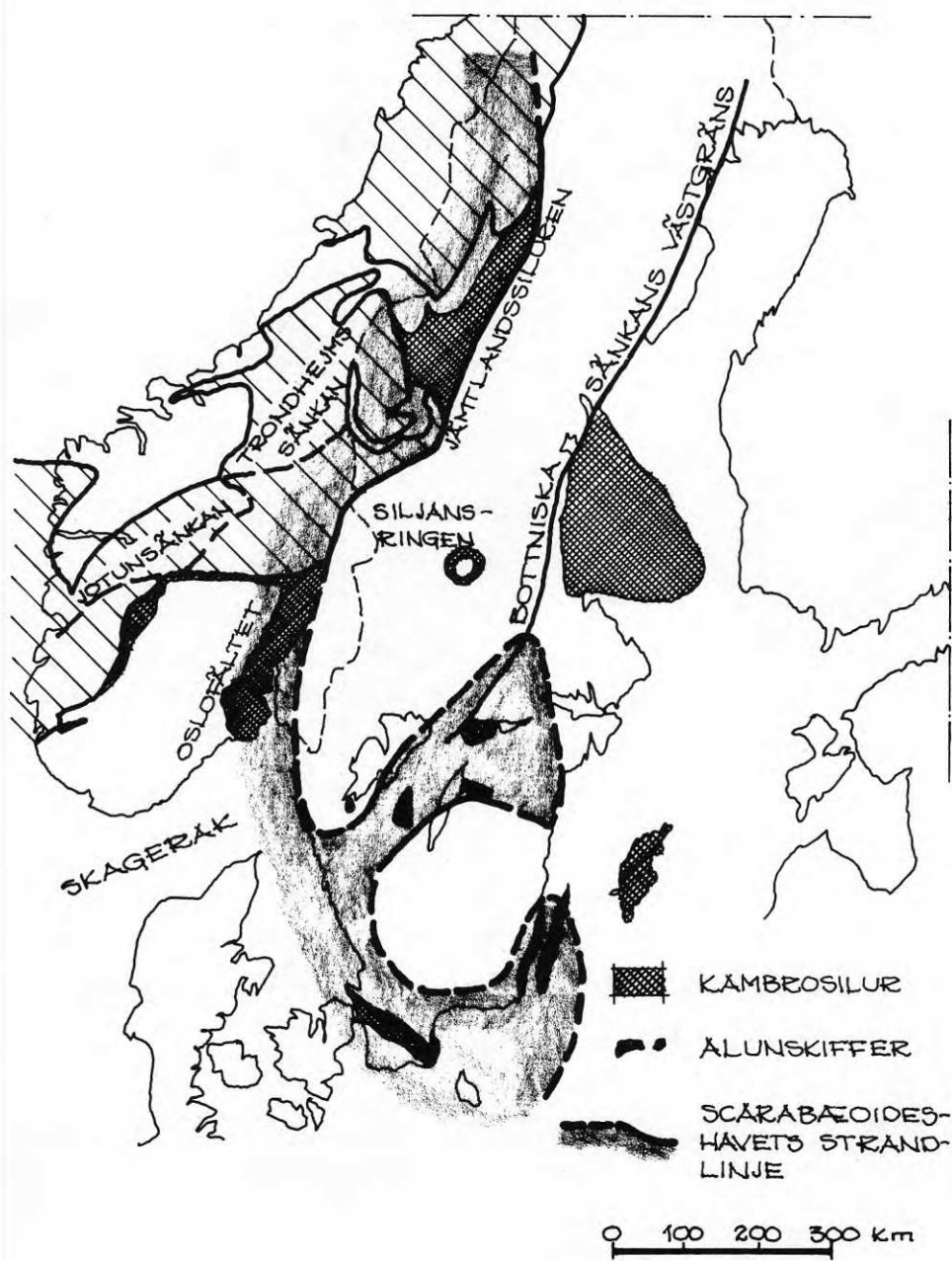


Fig. 2.

Avsättningsförhållanden för sediment under kambrium.

Alunskiffern har bildats av ett stundom kalkhaltigt lerslam uppblandat med växt-och djurrester som avsatts i havet och hamnat i en reducerande miljö. Lerslammet har med vattendragen förts från angränsande land ut i havet. Utfällda mineral som svavelkis och kalcit samt uran ingår i avlagringarna. Avsättningarna har skett mycket långsamt och pågått i ca 30 miljoner år. Det innebär en avsättning av endast några tusendels millimeter per år. Den nuvarande gyttjeavsättningen är flera hundra gånger större.

En betydelsefull del av alunskiffern består av kerogen, som bildats av växt-och djurlämningar. Genom nedbrytning av växt-delar som består av kolhydrater, fett och äggviteämnen bildas humus. Kolhydrater består av kol, väte och syre liksom fett och äggviteämnen, som dock har väsentligt lägre syrehalt. Fett och äggviteämnen är nämligen till större delen uppbyggda av kolväteradikaler vilka består enbart av kol och väte. Om syret, som huvudsakligen är bundet till kolhydraterna, avlägsnas uppstår kerogen i stället för humus. I en sådan process medverkar vissa små kräftdjur som har förmågan att tillgodogöra sig syret i kolhydraterna och därigenom omvandla dessa till syrefattigt fett.

En annan viktig process vid alunskiffrens bildning är reduktionen av sulfater till svavelväte. Reduktionen sker genom bakterier som har förmågan att med hjälp av lättförjästa kolhydrater reducera svavlet i havsvattnets sulfater till svavelväte. Den uppåtstigande gasen absorberas av andra bakterier, som omvandlar den till svavel. Svavlet lagras som små korn i bakterierna. Genom reaktion mellan svavlet och tvåvärt järn bildas småningom svavelkisen, som är karakteristisk för alunskiffern.

Ytterligare ett väsentligt inslag i alunskiffertäcket är förekomsten av orsten, vilken huvudsakligen består av kalciumkarbonat. Orstenen har bildats genom att kalkspaten ersatt vattnet i bottengyttjan. Orstenens kärna utgörs i regel av skalfragment. Orstenarna är diskusförmade med mittlagret fortsättande i tillhörande alunskifferlager. De ligger som bollar i skiffern eller bildar bankar och har tidigare använts för kalkbränning.

Uran förekommer i ganska hög halt i alunskiffer. I Billingen uppgår halten till 300 g per ton, vilket kan jämföras med urbergets genomsnitt på 3-4 g per ton. Alunskiffern är därför Sveriges största uranfyndighet och torde få betydelse för den framtida energiförsörjningen. Uranet synes förekomma i skiffern som mycket små mineralkorn och har troligen förts ut i havet av floderna. I alunskiffern förekommer även kolm, som är en fast kolartad substans. Man tänker sig att uranet först koncentrerats i humus från strandängar och från växtplankton. Denna uranhaltiga humus har sedan sjunkit ned i bottenävjan tillsammans med annat organiskt material och lerslam. Den uranhaltiga humusen har omvandlats av svavelbakterierna dels till syrefattiga fasta substanser, dels till oljeartade substanser som bildat kolmlinserna.

### 1.3 Alunskifferns egenskaper och tekniska användning.

Genom sitt innehåll av olika substanser har alunskiffern haft skiftande användningsområden under de senaste seklerna. Alunskiffern har fått sitt namn av att den redan i slutet av 1500-talet användes för tillverkning av alun,  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$ . Vissa tider var alun en av våra betydande exportvaror. Det användes vid färgning av tyger, vid garvning och för limning av papper. Den verksamma beståndsdelen i alun är aluminiumsulfat, vilket även kan användas vid vattenrening. Vid tillsats av aluminiumsulfat till förorenat vatten flockas föroreningarna ut och sjunker till botten och vattnet blir klart. På grund av utvecklingen inom soda-industrin på 1800-talet kunde billig svavelsyra framställas. Av svavelsyra och lera framställs aluminiumsulfat billigare än ur alunskiffern. De mellansvenska alunbruken måste därför läggas ned i slutet av 1800-talet.

Bränning av kalk har bedrivits under lång tid. Fram till slutet av 1800-talet skedde detta huvudsakligen med ved. Vid denna tid övergick man till kalkbränning med alunskiffer, vilket kulminerade under första världskriget. Den ökande konkurrensen från billigare bränslen gjorde att alunskifferbränning av kalk småningom upphörde.

Cementframställning ur kalk och alunskifferaska prövades i slutet av 1800-talet. På grund av bl.a. långsamt hårdnande kunde detta cement, "Svenskt cement", ej konkurrera med portlands cement, varför produktionen lades ned.

I början av 1900-talet utvecklades av Axel Eriksson en volymbeständig gasbetong ur kalk och alunskifferaska som sedermera fick namnet Ytong - en sammansättning av orden Yxhult och betong. Gasbetongen har blivit ett viktigt byggmaterial och användningen av alunskiffer härför blev en god ersättning för den nedlagda kalkbränningen. Av processtekniska skäl har den alunskifferbaserade gasbetongen succesivt ersatts av gasbetong framställd av cement eller kalk och sandsten.

I samband med andra världskrigets utbrott, när import av olja blev försvårad och slutligen avbruten, byggdes i Närkes Kvarntorp en petrokemisk industri med uppgiften att ur alunskiffern utvinna olja och bensen för försvarsändamål. Verksamheten bedrevs vid denna anläggning fram till mitten av 1960-talet.

Vid upphettning av alunskiffer, pyrolys, fås en brännbar gas, som till viss del är kondenserbar till olja. Vid raffinering av råoljan fås eldningsolja, bensen, gasol, svavel och bränn gas.

Svavlet i alunskiffern har utvunnits i Kvarntorpsanläggningen vid pyrolysgasframställningen. Svavelreserven i alunskiffern är så stor att den med nuvarande svenska konsumtion skulle räcka i 1000-tals år. Stora fyndigheter utomlands och den inhemska produktionen vid västerbottensfältet har gjort att svavelframställning ur alunskiffern ej längre är lönsam.

I alunskiffern finns Sveriges största samlade urantillgång, men på grund av rikare fyndigheter utomlands är den för närvarande ej brytvärd. En försöksanläggning i Ranstad vid Billingingen i Västergötland - Sveriges rikaste uranfyndighet - påbörjades 1959. Genom beslut i slutet av 60-talet skall arbetet med att åstadkomma en lönsam utvinning intensifieras. Den globala satsningen på atomkraftverk har medfört att efterfrågan på uran ökat så att den svenska utvinningen har förutsättningar att inom överskådlig tid bli lönsam.

#### 1.4 Alunskifferförekomster.

I det följande behandlas alunskifferförekomsterna i Sverige regionsvis. De återfinns i landets kambro-siluravlagringar som redovisas i figur 3.



Fig. 3.

Kambro-silurförekomster i Sverige.

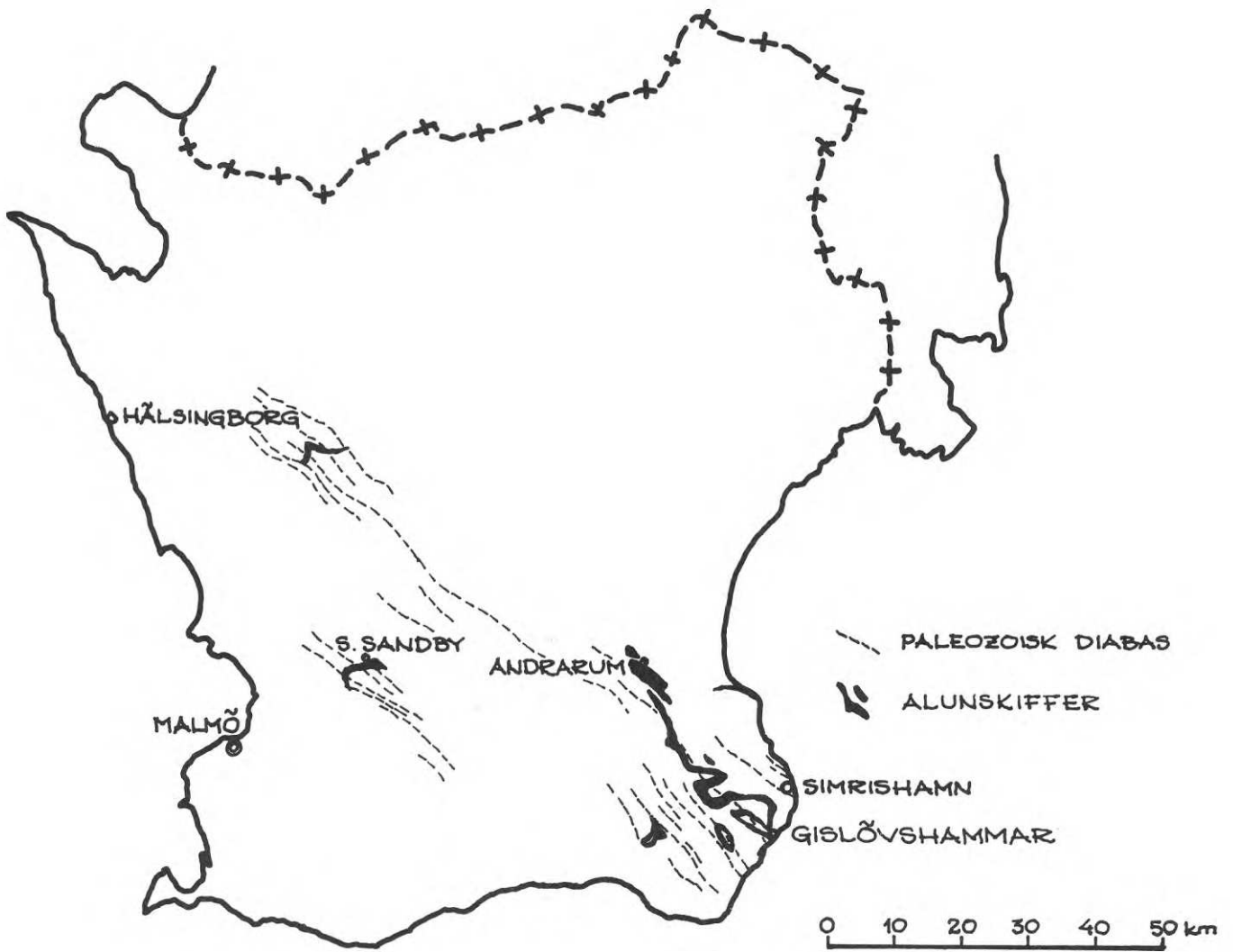


Fig. 4.  
Alunskifferförekomster i Skåne.

#### 1.4.1 Skåne

Alunskifferförekomsterna i Skåne framgår av figur 4. Alunskifferns mäktighet är i Skåne större än någon annanstans i Skandinavien. I Södra Sandby uppskattas mäktigheten till 100 m och i Gislövshammar till 77 m dvs en uttunning sker mot SO med en mäktighet på Bornholm av endast 28 m.

Sedimentationen tycks i huvudsak ha fortgått kontinuerligt från början av paradoxissimusetagen (mellankambrium) intill slutet av dictyonemætagen (undre ordovicium). Skåne och Västergötland är för övrigt de enda områden i södra och mellersta Sverige där hela paradoxissimusledet är utbildat som alunskiffer.

Orstenshalten är låg i Skåneskiffern liksom skifferns värmevärde. Det låga värmevärdet kan förklaras dels av skifferns låga halt av organiskt material, dels av den sönderdelning av organiskt material som följt under senare geologiska skeenden. Förekomsten av metaller är låg och av inget ekonomiskt intresse med undantag av vanadin. Halten vanadin varierar från 0,28% i dictyonemaskiffern ned till 0,05% i paradoxideskiffern.

Uranhalten är endast hälften eller tredjedelen av den mellan-svenska skifferns och varierar mellan 15g/ton i paradoxideskiffern och 130 g/ton i olenidskiffern (överkambrium). Halten  $\text{CaCO}_3$  varierar mellan ca 2 och 11%.



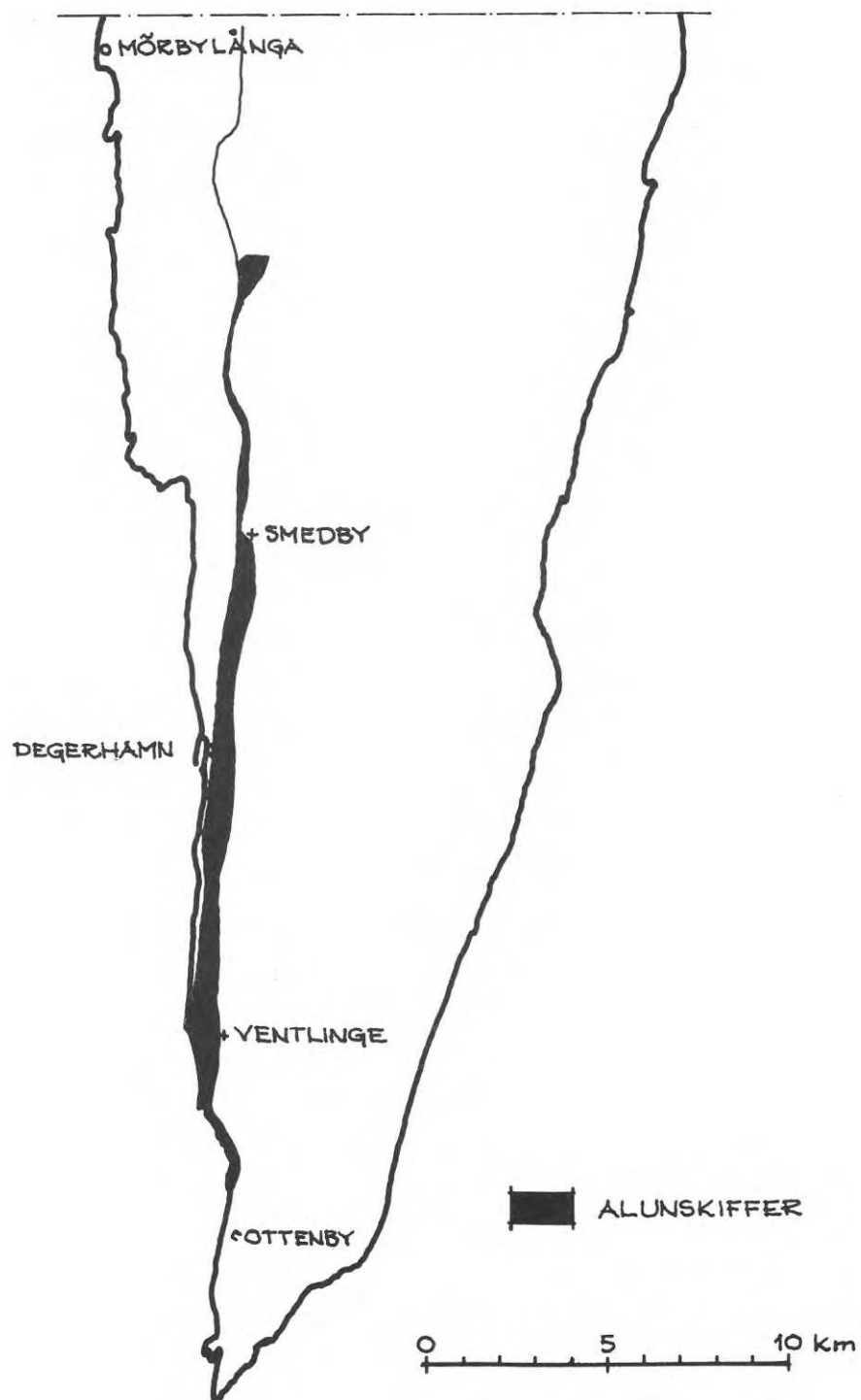


Fig. 5.  
Alunskifferförekomster på Öland.

#### 1.4.2 Öland.

Alunskifferförekomsten på södra Öland framgår av figur 5. Alunskifferstråket följer en nordlig sträckning och är blottat på ett flertal ställen, det nordligaste 4 mil norr om Borgholm. Skifferlagret stupar mot öster och vid öns östra strand ligger det djupt under havsytan. Lagrets mäktighet är störst i söder 24 m och avtager mot norr med minsta tjocklek av ca 2 m. Av 24 m i söder utgörs ca 13 m av olenidskiffer, ca 8 m av dictyonemaskiffer, ca 2 m av ceratopygeskiffer (undre ordovicium) samt ca 0,5 m av paradoxidesskiffer. Skifferns innehåll av svavel är hög i olenidskiffern, ca 10,5% medan de övriga lagren endast håller ca 3%. Av metaller synes endast vanadin förekomma i sådan mängd att den kan vara av ekonomiskt intresse. Halten är ungefär densamma som i Skånes skiffer.

Orsten förekommer rikligt i olenidskiffern med halter varierande mellan 63% och 24%. Halten  $\text{CaCO}_3$  är låg och varierar mellan 0,5% och 2%.

Skifferns värmevärde är högre än Skånes och uppgår till 900-1500 kcal/kg. Oljehalten är i medeltal 2,5%. Uranhalten slutligen är ungefär hälften av de mellansvenska skifferarnas och uppgår till 45-90 g/ton. Den ringa mäktigheten, det genomsnittligt tjocka täcket av kalksten och de förhållandevis låga halterna av mineral och andra ämnen gör att Ölandsskiffern är tämligen ointressant ur ekonomisk synpunkt.

## 1.4.3 Östergötland.

Alunskifferförekomsten i Östergötland framgår av fig. 6.

Av fig. 7 framgår skifferlagrets deformation och överlagring av yngre bergarter och jordarter.

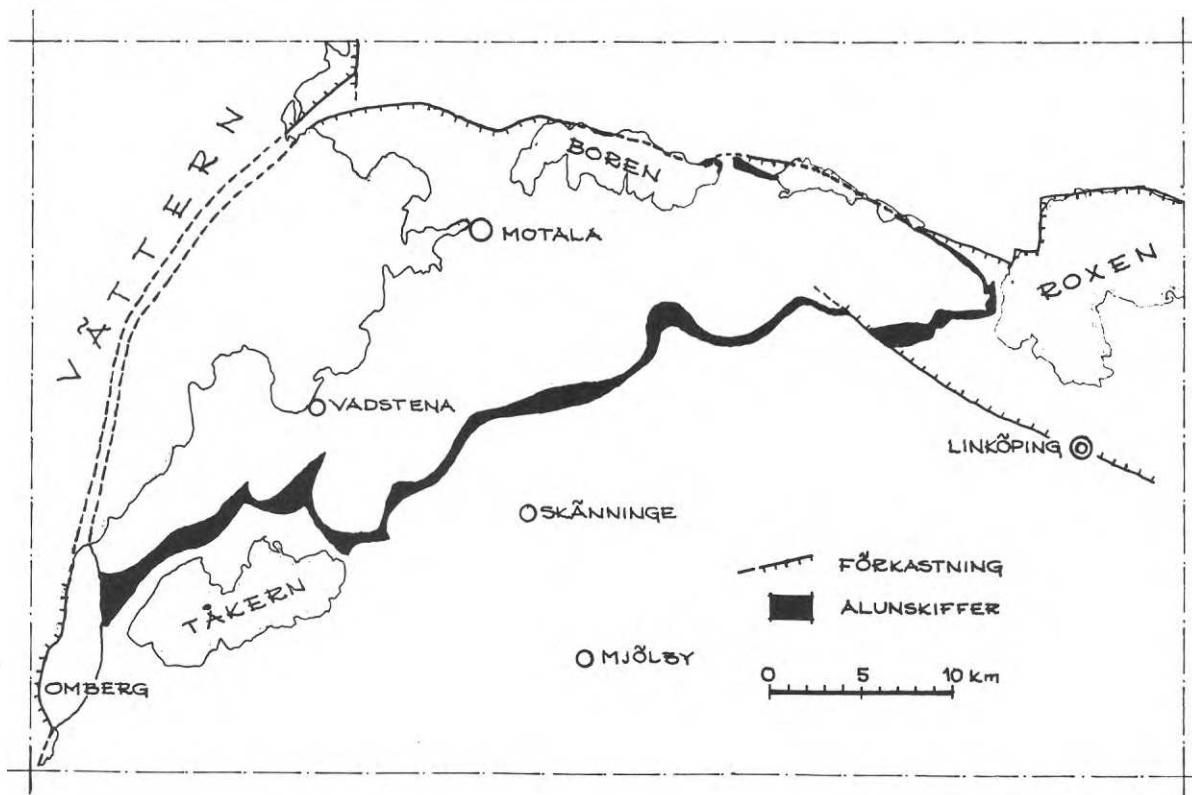


Fig. 6. Alunskifferförekomster i Östergötland.

Av figurerna framgår att dagbrottsområdena är små och då skiffern dessutom är av låg kvalitet är Östgötaskiffern f.n. av ringa ekonomiskt intresse. Oljehalten uppgår till 2,6 - 5,4% med regionala differenser och svavelhalten varierar mellan 3,3 och 7,6%. Halten av metaller är låg och av ringa intresse. Uranhalten varierar mellan 10-190 g/ton med minimum i olenidskifferns lägsta och paradoxidesskifferns högsta del och maximum i dictyonemaskiffern.

Inom kambrosilurområdet har förekomster av brännbar gas huvudsakligen bestående av metan och kväve påträffats på flera ställen. Kvantiteterna är dock för små för att bli ekonomiskt intressanta.

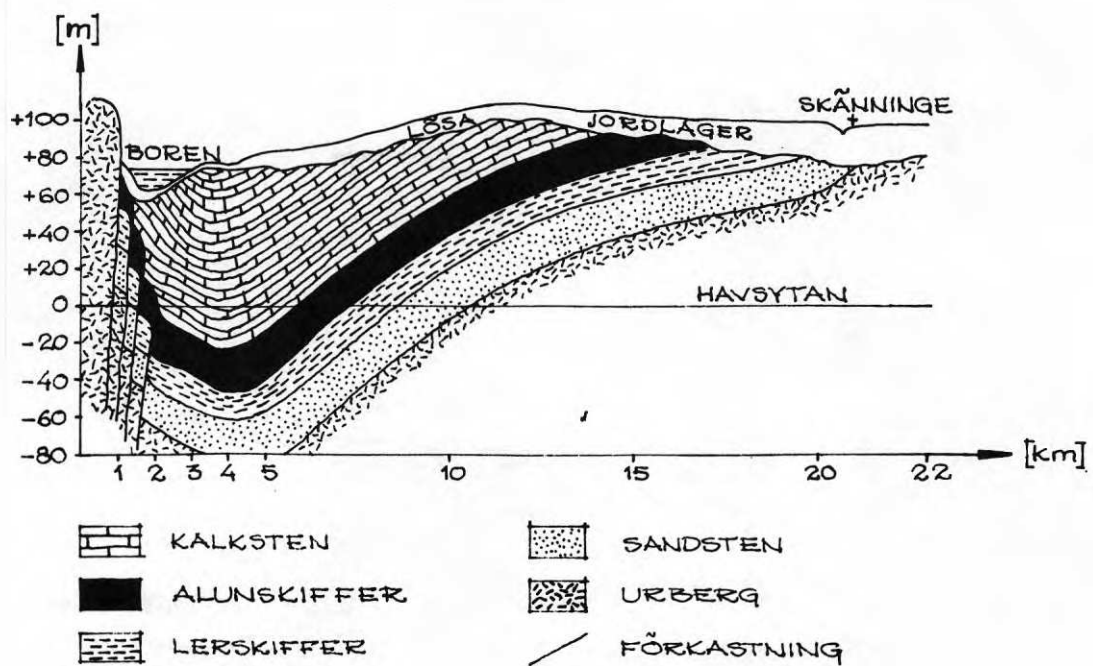


Fig. 7. Snitt genom Östergötlands berggrund.

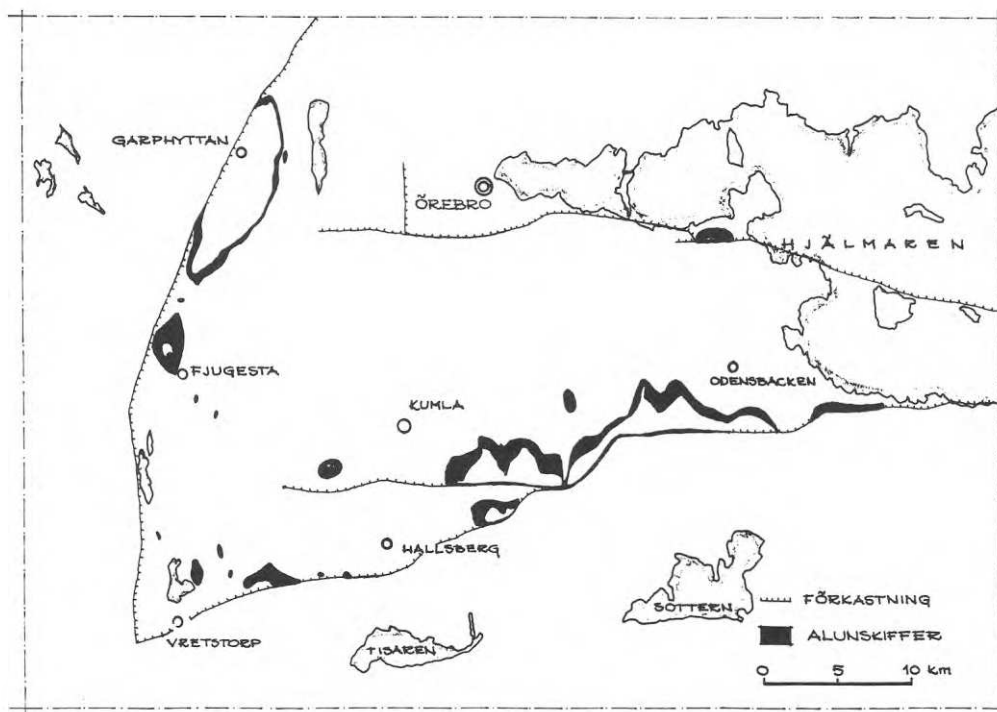


Fig. 8.  
Alunskifferförekomster i Närke.

#### 1.4.4 Närke.

Alunskifferförekomster i Närke framgår av fig. 8.

Tillsammans med den västgötska alunskiffern utgör Närkes alunskiffer landets bästa fyndigheter. Som tidigare redovisats har dessa fyndigheter under sekler utgjort underlag för industriell drift i skilda avseenden.

Den mellankambriska grågröna skifferleran från paradoxidesetagen som underlagrar den egentliga alunskiffern håller t.ex. i Yxhult en mäktighet av ca 6 m men tunnas ut till 0 i randområdena. Skifferleran är bördig och tack vare sin halt av montmorillonit har den förmåga att uppta vatten och förhindra uttorkning. Den överkambriska alunskifferns mäktighet varierar likaså men kan uppgå till ca 20 m. Närkes alunskiffer kan uttas genom billig dagbrytning och blir härigenom ekonomiskt intressant, särskilt som skifferns kvalitet är hög.

Oljehalten är genomgående ganska hög och varierar mellan i enstaka fall 0,8% upp till 7,4% med ett genomsnitt av ca 4,3%. Värmevärdet är högt och uppgår till ca 2000 kcal/kg vilket motsvarar brunkols värmevärde. Närkeskiffern är den kerogenrikaste i landet och håller ca 20% kerogen. Halten svavelkis är hög och utgör ca 12%, motsvarande ca 6-7% svavel. Uranhalten är hög men ändå lägre än Västgötaskiffern. Uranhalten varierar mellan 0,01-0,03%, dvs 100-300 g uran/ton skiffer. Den högsta halten förekommer i kolmzonens skiffer. Kolmlinserna håller så hög halt som 0,2-0,3% uran, dvs 2000-3000 g/ton, vilket motsvarar koncentrationerna hos världens rikaste uranfyndigheter. Uranutvinning ur alunskiffer torde kunna bli ekonomiskt intressant i framtiden. Kalk förekommer i skiffern i form av orsten som bildar bollar eller bankar men har f.n. inget ekonomiskt intresse.

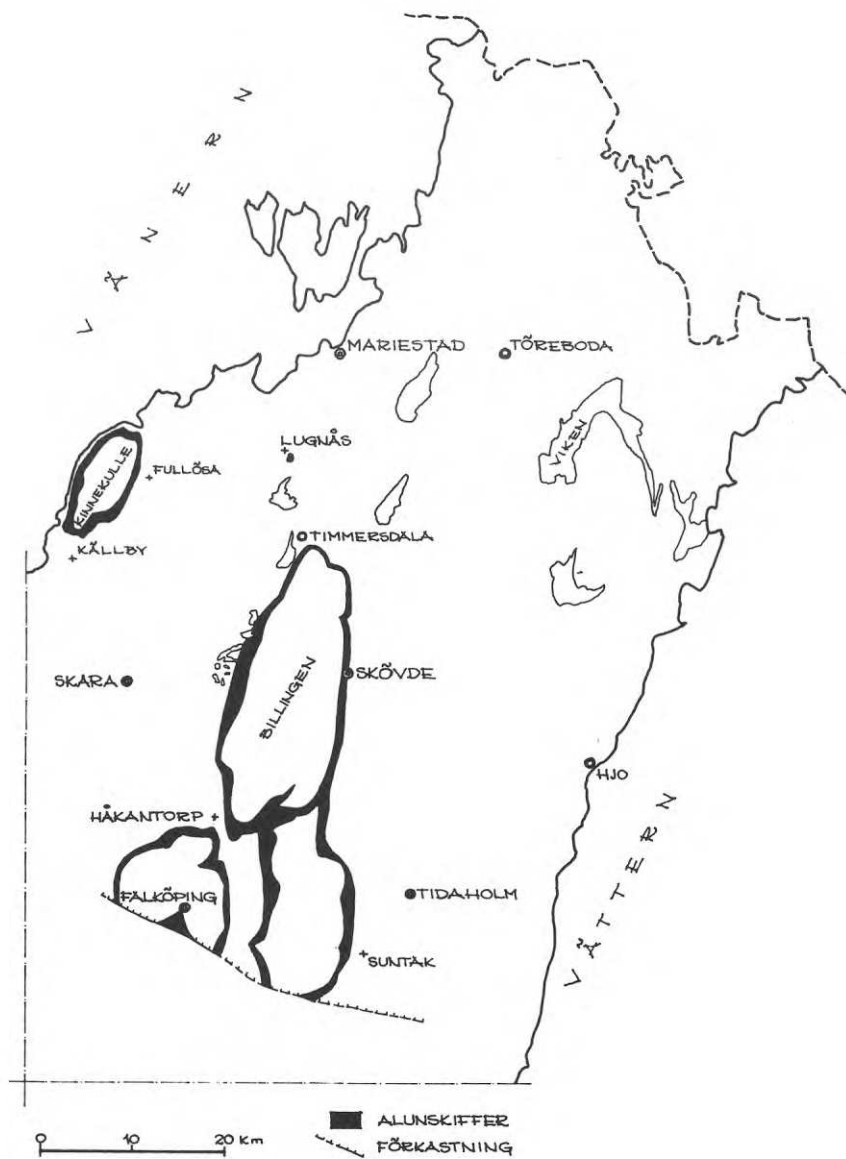


Fig. 9.

Alunskifferförekomster i Västergötland.

## 1.4.5 Västergötland.

Alunskifferförekomsterna i Västergötland framgår av fig.9. De är fördelade på fyra skilda områden: Billingen-Falbygden, Kinnekulle, Halle- och Hunneberg samt det lilla Lugnåsberget. Karakteristiskt är att kambro-siluravlagringarna med ett undantag, Lugnåsberget, är täckt med ett skyddande lager av diabas. Diabasen har trängt in i de siluriska skiffrarna, och skyddat de underliggande lagren från denudation (nedbrytning och borttransport). Lagren ligger så gott som horisontellt på det subkambriska peneplanet i motsats till t.ex. Östgotakambro-siluren, som har nedsänkts genom förkastningar.

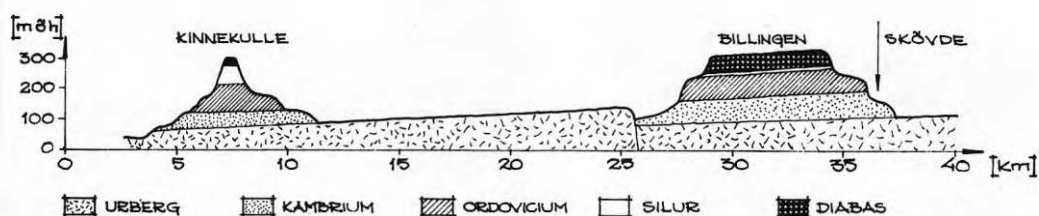


Fig. 10.

Snitt genom Västergötlands berggrund.

Alunskiffern har inom samtliga områden bildats på likartat sätt och omfattar paradoxides- och olenidskiffer samt i begränsad omfattning dictyonemaskiffer. Dess mäktighet är 22-24 m varav 12-16 m utgör olenidskiffer. Orstenshalten är hög men varierande. Alunskifferns oljehalt är genomgående låg. Störst är den i Kinnekulles nordöstra del, men den ekonomiska betydelsen är ringa.

Den största tillgången i Västgötaskiffern torde vara uran. Halten är i Billingen så hög som 300 g/ton vilket bör kunna ge underlag för ekonomisk utvinning. En försöksanläggning har uppförts i Ranstad på Billingens sluttning där landets största uranfyndighet finns. Västgötaskifferns innehåll av mineral etc är i övrigt så lika Närke att hänvisning görs till beskrivningen häröver.



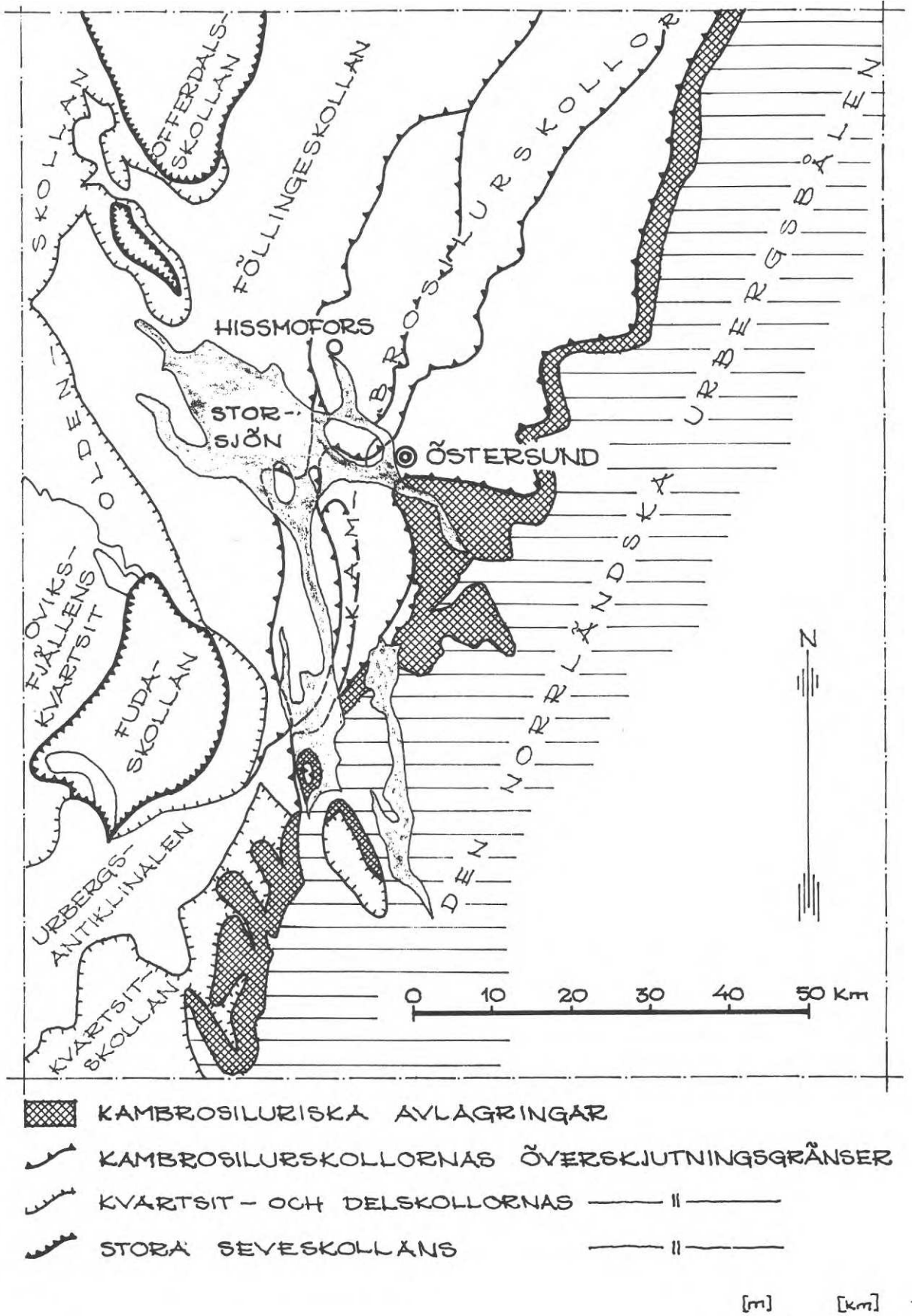


Fig. 11  
Storsjöbygdens berggrund.

#### 1.4.6 Norrland

Alunskifferförekomsterna i Norrland är inte så detaljerat kartlagda som de syd- och mellansvenska. P.g.a. den komplexa geologiska bilden i fjällranden, de stora avstånden, små mäktigheterna, max ca 20 m och därmed ringa ekonomiska betydelsen har den norrländska alunskiffern ej varit föremål för speciellt intresse. Det är därför endast möjligt att allmänt visa förekomster av kambro-siluravlagringar och i begränsad omfattning alunskifferförekomster.

Av fig. 11 framgår kambro-siluravlagringarna längs fjällkedjan. Det är konstaterat alunskifferförekomster i dessa avlagringar. Dessa omfattar hela paradoxidesskiffern samt olenidskiffern. På vissa ställen i Jämtland och Ångermanland har alunskiffern visat sig tillhöra dictyonemaskiffern. Den överlagras vanligen av lerskiffer eller ceratopygekalk, på sina ställen även direkt av kvartsit.

Den norrländska alunskiffern är fattig på orsten. P.g.a. de stora yttre krafter som verkat på skiffern har den ursprungliga bitumenhalten omvandlats till kol och antagit ett grafit-skifferliknande utseende.

Skiffern har lågt värmevärde, ca 900 kcal/kg och avger ingen olja vid destillation. Uranhalten är låg.

		AUTOKTON	ÖSTLIG SKOLLA
SILUR	WENLOCK		
	LLANDOVERY	ÖSTERSUNDS -	KALKSTEN SKIFFER OCH KVARTSIT SANDSTEN SLAMSTEN KALKMOSTEN SLAMSTEN SANDSTEN
ÖVRE	DALMANITINA		KYRK-ÅS
	TRETASPIS-LEDET	SKIFFRAR OCH KALKSTEN	TRETASPIS LATILIMBUS DICELOGRAP. COMPLANATUS
		TRETASPISSKIFFER SLANDROMKALKSTEN	TRETASPISSKIFFER, KALKSTEN
ORDOVICIUM MELLAN	CHASMOPS-LEDET	KALKSTEN SKIFFER KALKSTENAR LOFTARSTEN KONGL. VITTR.-BRECCIA	TRIARTHUR- SKIFFRAR DICRANOGR. CLINGANI NEMAGRAPTUS GRACILIS ROBERGIA GLYPTOGRAP. TERETIUSCUL.
		SCHROETERI-KALKSTEN PLATYURUS - "	"ORTOCERATITKALKSTEN"
	"ORTOCERATITKALKSTEN"	VAGINATUM- " LEPIDURUS- " "LIMBATA" - " U. DIDYMOGR.- SKIFFER PLANILIMBATA- OCH DIFTORMIS- KALKSTEN	UNDRE DIDYMOGRAPTUS SKIFFER DIFFORMIS KALKSTEN
		BILLINGEN HUNNEBERG	
UNDRE	CERATOPYGE DICTYONEMA		DICT. ALUNSKIFFER
	ÖVRE	ALUNSKIFFER	ALUNSKIFFER
KAMBRIUM	MELLAN	KONGL. SKIFFER KONGL.	ALUNSKIFFER SKIFFER KONGL.
	UNDRE	KONGL.-KALKSANDSTEN- KVARTSIT	? - KVARTSIT

Tabell 12. Storsjöområdet kambro-silur.

## 1.4.7 Skiffern i Östersundsområdet.

Geologin inom Jämtland är som tidigare framhållits komplicerad och det har på sina håll varit svårt att göra precisa bestämningar och avgränsningar. Fig. 13 visar en schematisk profil genom Storsjöområdet. Här framgår hur kambro-silur-skollorna skjutits över från väster och delvis pressat ned den ursprungliga berggrunden. Figuren visar också att skollornas mäktighet i Östersundsområdet totalt skulle vara ca 300 m, men några mer exakta uppgifter är inte bekanta.

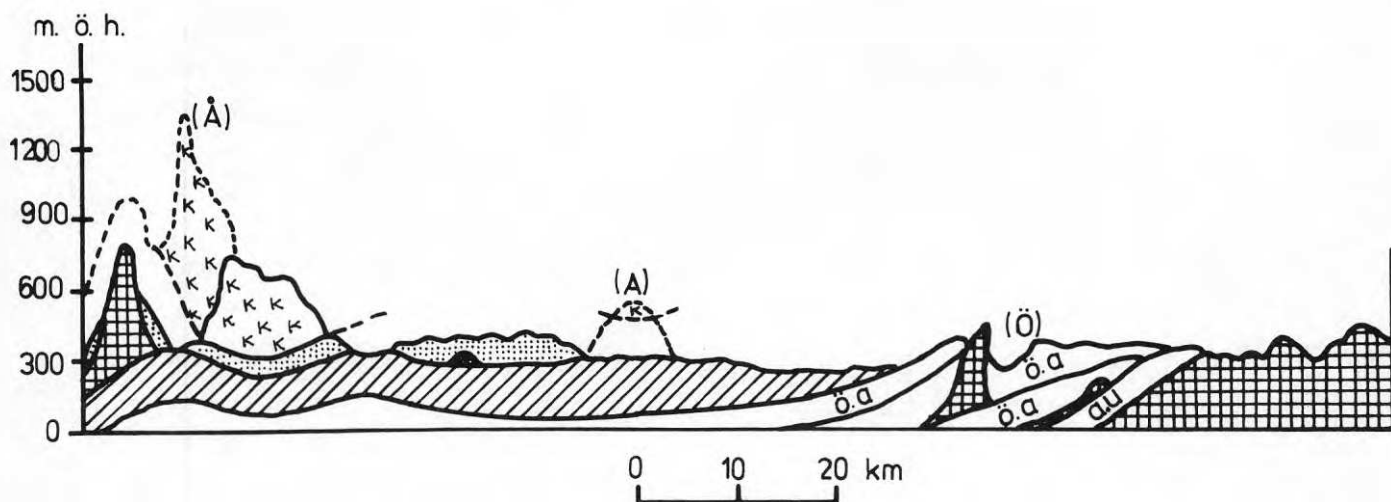


Fig. 13.

Schematisk profil genom Storsjöområdet i Jämtland.

Oskrafferat= kambro-silurskollor där au= autokton betecknar ej förflyttat lager medan ö.a.= östlig allokton betecknar de skollor som skjutits över från väster.

Rutat= urberg. Streckat= Föllingetäcket. Prickat= Oldentäcket.

K= huvudsakligen kristallina storskollor

(Å)= Åreskutan (A)= Alsen (Ö)= Östersund.

Skiffern i Östersundsområdet har vanligen benämnts alunskiffer p.g.a. sin mörka färg och övriga likhet med den vanliga alunskiffern. Skillnaden ligger främst i deras olika ålder. Alunskiffern härrör från mellan- och överkambrisk tid för omkring 500 miljoner år sedan, medan Östersundsskiffern är ca 100 miljoner år yngre och härrör från övre ordovicium. Av tabell 12 framgår Östersundsskifferns placering i den geologiska skalan.

Östersundsskifferns innehåll av svavel är lågt, vanligen ej över 3%. Dess mineralinnehåll i övrigt är obekant, men eftersom den ej utnyttjats industriellt i något avseende, torde förekommande halter vara ekonomiskt ointressanta i jämförelse med den rikare syd- och mellansvenska alunskiffern.

Det som gjort Östersundsskiffern uppmärksammat är framförallt de byggnadsskador den åstadkommit. P.g.a. att Östersunds stad i huvudsak vilar på denna bergart har problemen koncentrerats dit, men skador förekommer även på platser utanför staden. Skadorna uppkommer i samband med skifferns vittring som trän-ger allt längre ned i lagren. Beroende på vittringsgraden varierar vittringsprodukten från jordliknande konsistens vid ytan till fast skiffer. I samband med vittringen bildas gips som orsakar svällning, vilken påverkar byggnader grundlagda på vittrande skiffer.



Som framgår måste vissa villkor vara uppfyllda för att reaktionen skall ske, nämligen att följande ämnen finns närvarande: pyrit  $\text{FeS}_2$ , vatten  $\text{H}_2\text{O}$ , syre  $\text{O}_2$  samt kalksten  $\text{CaCO}_3$ . Dessutom fordras närvaro av magnetkis  $\text{FeS}$ , vilken har katalysatorverkan på oxidationen av svavelkis till sulfat, samtidigt som magnetkisen själv går över till sulfat.

Vid Oslo universitet har man på experimentell väg framställt magnetkis. Bildandet av denna visade sig öka markant vid temperaturer över ca  $300^\circ\text{C}$ . Härav har dragits slutsatsen att halten magnetkis bör vara störst i närheten av berggrundens mineralgångar. Temperaturen har där varit högst och därmed den kemiska reaktionen häftigast.



Fig. 14. Schakt i skifferberg.

## 2. SKADOR

### 2.1 Kemisk nedbrytning av skiffer.

Östersundsskiffern kan på kort tid nedbrytas från fast eller halvfast form till pulverform. Ett välbekant fenomen är att man vid utförande av schakter i skifferberg med möda spettar, hackar, borrar och spränger upp berget men när schaktmassorna efter någon tid skall transporteras bort har de övergått till ett finkornigt närmast mo- och mjälamaterial. Det snabba förloppet beror naturligtvis på att de uppschaktade skifferblocken kommer i direkt kontakt med luft och regnvatten.



Fig. 1. Prov på fast och vittrad Östersundsskiffer.

I naturen sker normalt en urlakning av berggrunden genom att regnvatten sipprar ned och grundvatten transporteras. På så sätt sker en nedbrytning av skiffen varvid olika salter utlakas. Så faller t.ex. limonit ut i form av rost och är lätt att upptäcka på bergytan eller i sprickor. Vattenlösliga salter som järnsulfat och kalciumkarbonat transporteras från bildningsplatsen med vattnets hjälp liksom svavelsyra och kolsyra. I kapitel 1 har de olika reaktionerna redovisats med formler varför detta inte upprepas här.



I samband med utfyllnader av skiffer uppträder skador på grund av den kemiska nedbrytningen. Exempel finns från vägbyggnader där man använt skifferberg för uppbyggnader av vägbank. Det som från början varit skifferblock med stor volym har efter vittring fallit sönder och blivit en till volymen mindre och till konsistensen väsentligt sämre fyllning än vad som avsetts.



Fig. 2. Skador på provbalkar av betong med kishaltig ballast (Roosaar - Vessby: Betongskador orsakade av kismineral i ballast).

Betong med ballast av kishaltigt material skadas p.g.a volymökning i samband med att sulfatjonerna reagerar med cementets aluminater och bildar kalciumsulfoaluminatkristaller (3:e internationella cementsymposiet 1952 och Hagerman, Roosaar 1955).

Det är således olämpligt att använda skiffer såväl som fyllnads-material som ballast vid betongtillverkning.

## 2.2 Kemiska angrepp på betong.

Betongkonstruktioner i anslutning till skifferberg kan skadas även om ballasten inte innehåller kismineral. Som visats tidigare bildas sulfater vid skiffrens nedbrytning. Om sulfathaltigt vatten kommer i kontakt med betong bildas vid kontaktytan kalciumaluminatkristaller på samma sätt som visats i 2.1. Det sker då en nedbrytning av betongen från ytan som tränger allt längre in i konstruktionen. Beroende på koncentrationen av sulfatjoner, varierar skadornas omfattning. I Östersundsområdet är koncentrationen låg och skadorna är därför obetydliga.

Ett exempel från Hissmofors kraftverk redovisas i fig. 3. En mindre betongkant i golvet anslutande till vertikal bergvägg har angripits av sulfathaltigt läckvatten. Betongkonstruktionen är 10 år gammal och som synes är skadorna i det närmaste obetydliga.



Fig. 3. Skadad betongkant vid golv i anslutning till skiffervägg i Hissmofors kraftverk.

## 2.3 BYGGNADSSKADOR

### 2.3.1 Skador på betonggolvet.

Svällningsrörelserna kan uppgå till avsevärd storlek. Redan vid förhållandevis små rörelser börjar skador uppstå på golv och i ett senare skede även på andra delar som väggar, inredning etc. Nedan görs ett försök att teoretiskt beräkna storleksordningen av erforderlig golvrörelse för att sprickor skall uppstå. Jämförelse görs sedan med uppmätta värden och gjorda iakttagelser.

Fig. 4 visar en sektion genom en tänkt byggnad. Källargolvet är av konventionell typ med betongplatta på grus. Golvet är frilagt från väggarna. Undergrund av skiffer. För enkelhets skull förutsätts utrymmet vara så långsmalt ( $a/b \ll 2$ ) att golvet kan behandlas som enkelspänt.



Fig. 4. Sektion genom byggnad. Golvets lyftning antydd med streckade linjer.

Belastningen underifrån av skiffersvällningen anses vara jämnt fördelad. Golvets egenvikt + normal belastning håller här golvet mot grundunderlaget. Golvet kan nu behandlas som en tvåstödsbalk belastad med jämnt fördelad last enligt fig. 5.

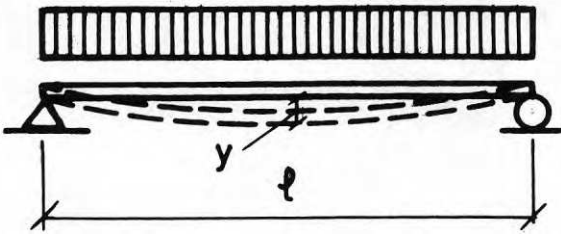


Fig. 5. Golvet betraktat som tvåstödsbalk, belastad med jämnt fördelad last.

Ur formlerna för nedböjning  $y = \frac{5 q l^4}{384 EI}$  och böjspanning  $\sigma = \frac{q l^2 \cdot \frac{d}{2}}{8 \cdot I}$  kan efter omvandling  $y = \frac{5 \sigma l^2}{48 E \cdot \frac{d}{2}}$

erhållas. Därur kan beräknas den höjning ( $y$ ) i golvmitt som svarar mot första böjdragsprickan. En 1 m bred strimla betraktas.

Med följande antagna värden  $E_{\text{betong}} = 100\,000 \text{ kp/cm}^2$ ,  $\sigma_{\text{bd}} = 15 \text{ kp/cm}^2$  (brottspanning),  $d = 10 \text{ cm}$  och  $l = 400 \text{ cm}$  erhålles

$$y = \frac{5 \cdot 15 \cdot 400^2}{48 \cdot 100000 \cdot 5} = 0,5 \text{ cm} = 5 \text{ mm.}$$

Om spännvidden minskas till  $l = 2$  m som t.ex. i en källargång skulle sprickbildning ske redan vid 1,25 mm golvhöjning. Vid så små rörelser kan det vara svårt att komma fram till orsaken till sprickbildningen. För att kunna registrera golvrörelserna skruvas vanligen en konsol med armlängden 20-50 cm fast på väggen. På konsolen fästs en mätklocka med avläsningsnoggrannheten 0,01 mm (tusendelar uppskattas). Mellan golv och mätspets anbringas ett stålstativ fig. 6. Se även fig. 4. I exemplet ovan med en rörelse av 5 mm i golvmittpunkt vid en spännvidd på 4 m ger en armlängd på 25 cm ett utslag av ca 1 mm.

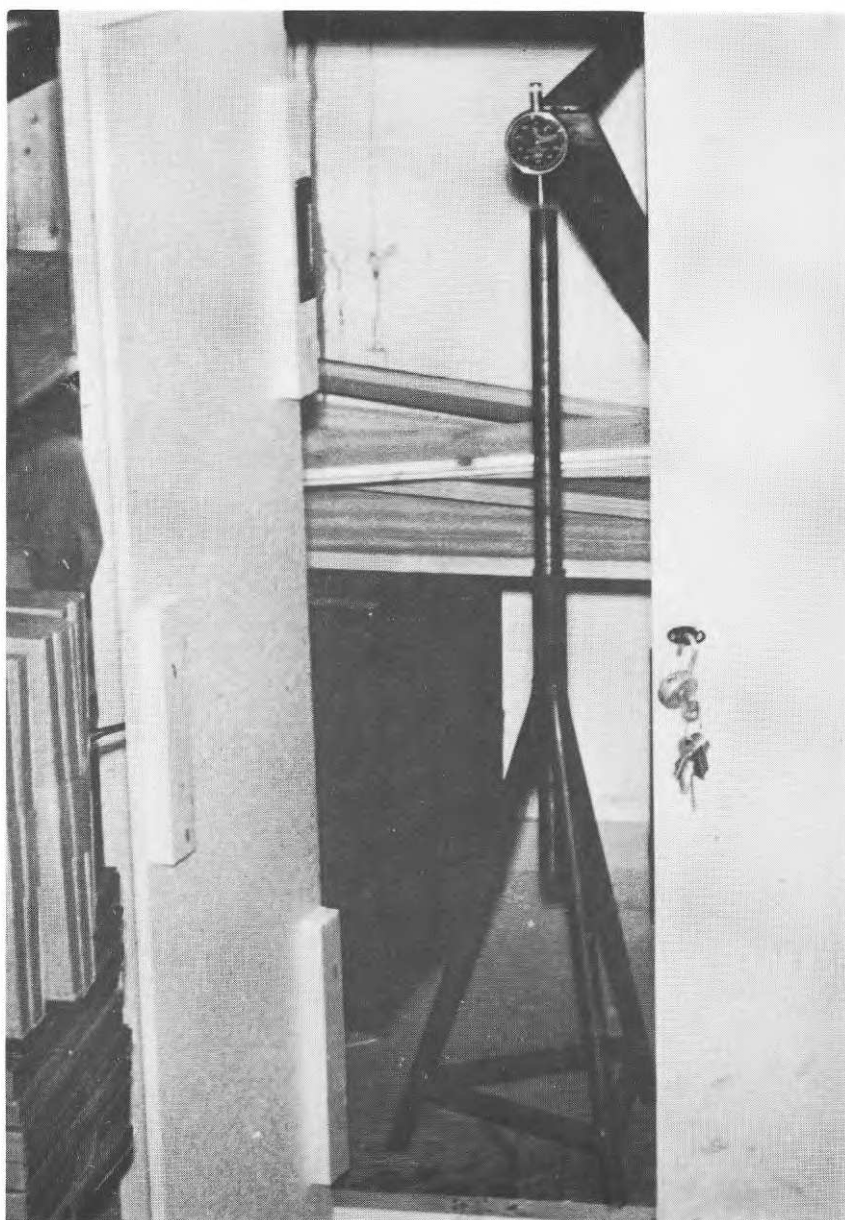


Fig. 6. Anordning för mätning av golvrörelser.

I flera fall har svällning av denna storlek uppmätts inom loppet av ca ett år. Lokala variationer påverkar självfallet förhållandet men allmänt kan sägas att det är helt små rörelser som fordras för att svällningen skall förorsaka skador. Hur mäktigt behöver då det skifferlager vara som ger en svällning av 5 mm. Vid laboratorieprovning på små provbitar har vid accelererad reaktion uppmätts en total svällning av ca 2% under loppet av ca ett år. Den maximala svällningen kommer med säkerhet att bli ännu större. För att svällningen skall bli 5 mm fordras således under dessa förhållanden en mäktighet av endast 25 cm, dvs en normal grundsulans tjocklek. Ju större mäktigheten är under för övrigt lika förhållanden desto snabbare når man självfallet upp till gränsen för skadlig svällning och därmed även till tidpunkten för reparation. Man måste i detta sammanhang ha klart för sig att den tid som erfordras för att skadlig svällning skall uppstå varierar avsevärt från fall till fall, beroende på skiffrens sammansättning och övriga inverkanse faktorer.

### 2.3.2 Skador på väggar.

I en byggnad uppstår vanligen även skador på väggarna, i huvudsak på de icke bärande. Storleken av på dessa verkande krafter kan med förenklade antaganden teoretiskt beräknas enligt nedan. Följande antaganden görs: bjälklaget över källaren är helt stumt, golvhöjningen = 5 mm, väggens höjd = 2,5 m samt murverkets E-modul = 10 000 kp/cm<sup>2</sup>. Enligt Hooke's lag fås då:

$$\sigma = E \cdot e = 10\,000 \cdot \frac{5}{2500} = 20 \text{ kp/cm}^2$$

dvs man skulle nå upp till murverkets brottspänning.

Antagandet att bjälklaget över källaren är stumt är en approximation. Vid ett tryck underifrån kommer detta att böjas uppåt med påföljd att spänningarna i väggen blir något lägre än enligt beräkningarna ovan. Om svällningen fortsätter får man så småningom en så stor lyftning av bjälklaget över källaren att väggarna i våningen över kan skadas.



Fig. 7. Inventering av skifferskador i Östersund.

### 2.3.3 Inventering av skador.

I Östersund har gjorts en inventering för att klarlägga var skador pga skiffersvällning förekommer och hur de uppträder. Av fig. 7 framgår objektens fördelning i staden. En viss anhopning av skador i stadens centrala del kan noteras. Det torde bero på att den moderna bebyggelsen där utförts till stort grundläggningsdjup vilket medför att tidigare icke vittrad skiffer påverkats genom grundvattensänkning. Grundvattensänkning i samband med grundläggning till stort djup i tätorter är ett bekant fenomen. Vanligen inträffar då skador på kringliggande bebyggelse på grund av sättningar i samband med grundvattensänkningen. Även i Östersund ger grundvattensänkningen upphov till skador på bebyggelsen men här på grund av svällning hos undergrundens skiffer. Det märkliga inträffar att samma orsak får direkt motsatt verkan, sjunkning respektive svällning.



Fig. 8. Vy över objekt 13 och 12, Österängsskolan och Nya kyrkan där de första skadorna p.g.a. skiffersvällning konstaterades.



## 2.3.4 Olika skadetyper.

En sammanställning av de inventerade skadorna visande frekvensen av olika skadetyper redovisas i tabell 9. Skadorna återfinns huvudsakligen i understa källarvåningen och är vanligast på golv, icke bärande väggar och ledningar. Skador på bärande väggar och därav följande skador på övre våningar är mindre vanliga men förekommer. De olika skadetyperna dokumenteras med fotografier i det följande, men några bilder på skador på ledningar respektive övervåningar kan inte redovisas. Skadorna är nämligen delvis åtgärdade och det som återstår är inte särskilt bildmässigt.

De i tabellen redovisade skadorna kan sägas vara representativa för hela området även om en fullständig inventering inte gjorts.

Objekt	SKADETYP						
	Golv	Bärande vägg	Icke bär. vägg	Grundmur	Utrustning	Inredning	Övre våningar
1	x				x		
2	x		x			x	
3	x						
4	x				x		
5	x		x		x		
6	x	x	x			x	x
7	x						
8	x						
9	x		x				
10	x						
11	x						
12	x						
13	x			x			
14	x						
15	x						
16	x		x		x	x	

Tabell 9. Olika skadetyper.

Exempel på de vanligaste skadetyperna nämligen skador på golv och icke bärande väggar redovisas i fig. 10-12. Golv av betong buktar upp kraftigt och spricker, men i många källarutrymmen har detta liten betydelse. När det gäller förråds- och lagerutrymmen med hyllor och diskar som vilar på golvet kan inredningen ta skada och utnyttjandet försvåras. I större lagerlokaler med hård trafik av truckar o.dyl. har skadorna direkt avgörande betydelse. Vid användning av höga stapeltruckar kan även en liten golvlutning betyda en så kraftig tyngdpunktsförskjutning hos trucken att arbetet med den blir riskabelt. Det finns även risk för att de hårda truckhjulen bearbetar golvet så kraftigt att betongen blir starkt söndersmulad. Truckhjulen utsätts ju också för slitage när de passerar skarvar och sprickor i betonggolvet. Som tidigare nämnts ger golvlyftningen även skador på icke bärande väggar. Då uppstår, som fig. 12 visar, ett flertal sprickor på ganska små avstånd men även krossningar och andra sprickutseenden förekommer.

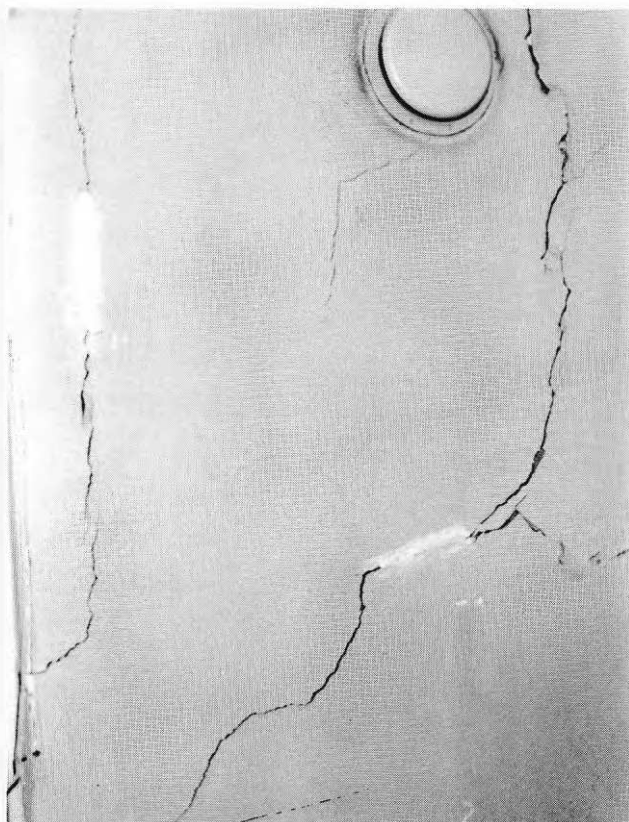


Fig. 10. Skada på innervägg i källaren, kv. Magistern nr 6.

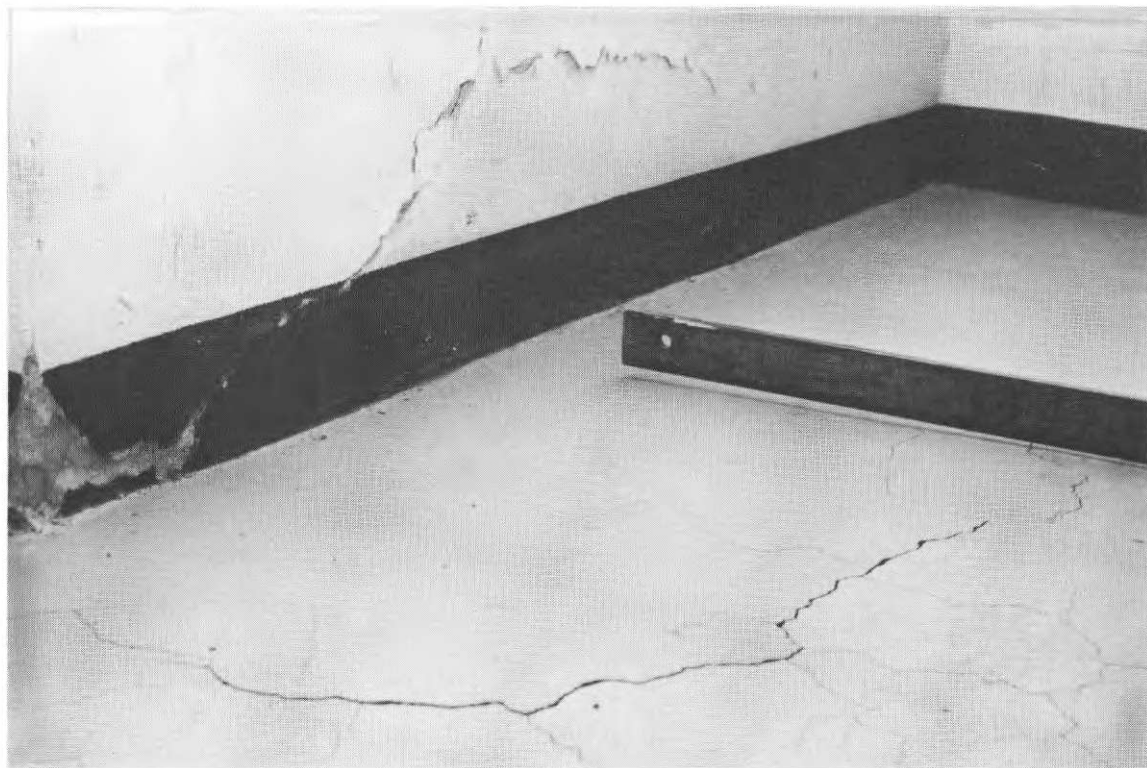


Fig. 11. Skada på golv och vägg i Hissmofors kraftverk.

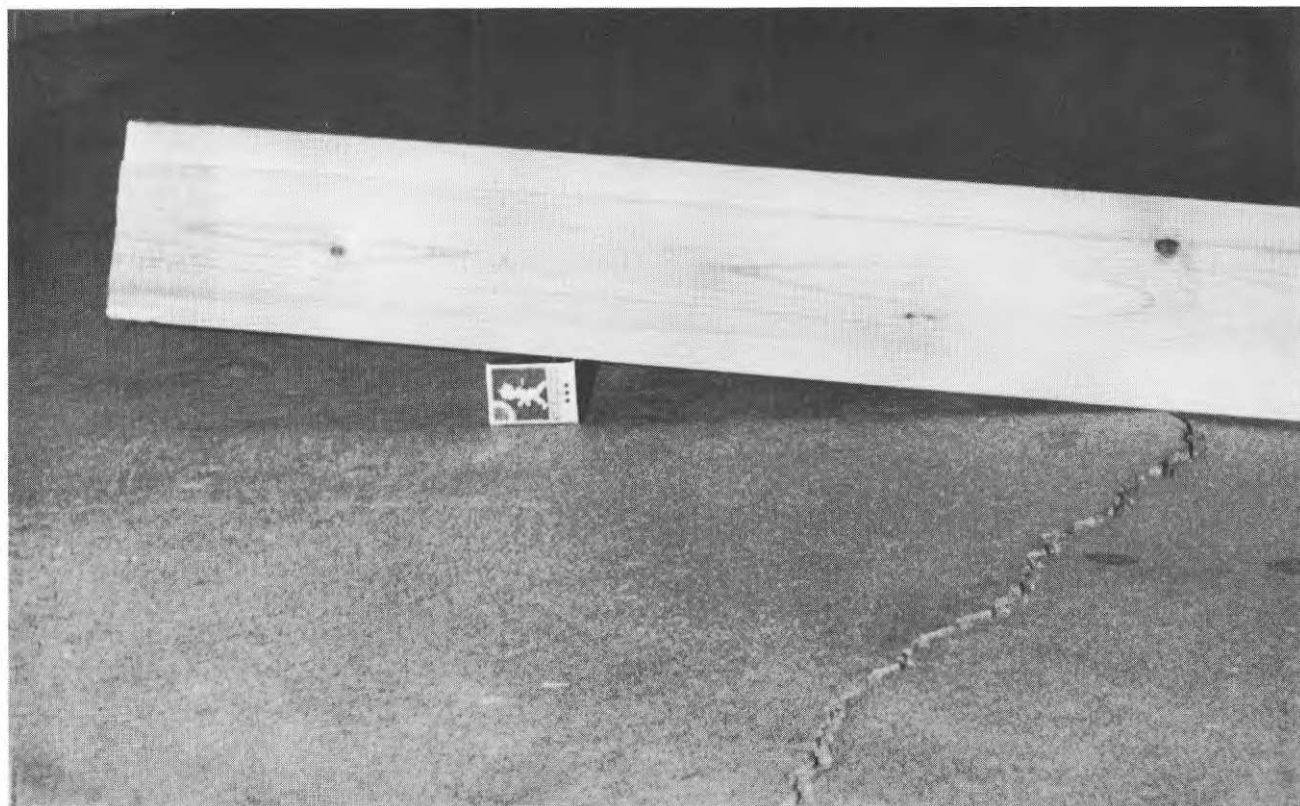


Fig. 12. Skada på källargolv i Österängsskolan.

Andra vanliga olägenheter av skiffersvällning visas i fig. 13-15. Fig. 13 visar hur man måste använda bräckjärn för att öppna en dörr som klämts fast av skiffersvällning. I fig. 14 ses detalj av insidan av samma dörr och här framgår tydligt förskjutningen mellan karm och vägg liksom sprickbildningen i den bärande väggen. Om skadan förvärras ytterligare kan man som fig. 15 visar vara tvungen att mejsla bort betongen för att kunna använda sig av dörren.



Fig. 13. Uppsmejslat betonggolv vid källardörr.



Fig. 14. Fastklämd dörr i kv. Magistern nr 6.

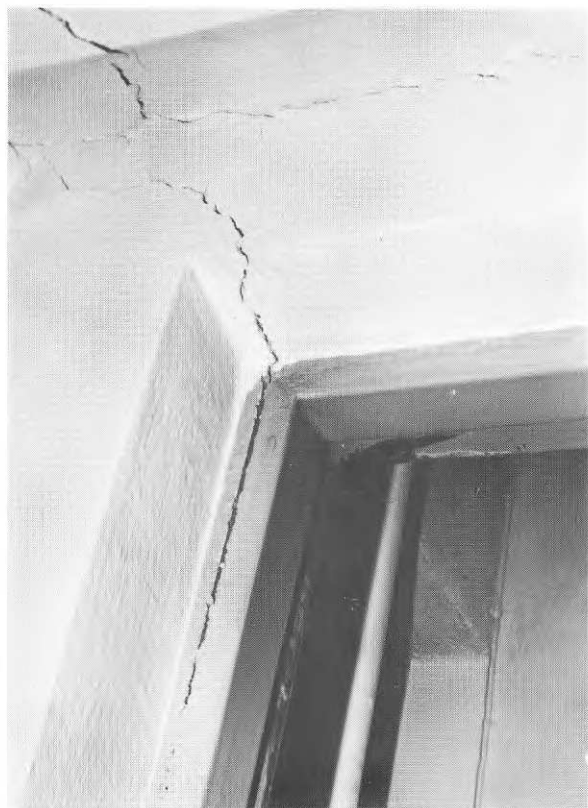


Fig. 15. Detalj av dörr i fig. 13.



Fig. 16. Timmerränna i Hissmofors kraftverk skadad av skiffersvällning. På undersidan plåt för läckvatten.



Fig. 17. Skadad varmluftskanal med arean  $1 \text{ m}^2$  i Hissmofors kraftverk.

Skiffersvällningen uppgår i vissa fall till 5-10 cm och kan då ge upphov till betydande skador. I Hissmofors kraftverk som är helt grundlagd på skiffer har detta vållat stora problem. I maskinsalen har en timmerränna skadats med läckage som följd (fig. 16). Lägg märke till förskjutningen vid rännans överkant och till dropplåten i underkant. Timmerrännan låg från början utanför kraftverksbyggnaden, som uppfördes 1939-42, och uppvisade då inga skador. Vid en tillbyggnad 1956 byggdes rännan in i maskinsalen varefter skadorna började uppträda. Tydligen hade det relativt varma rumsklimatet liksom grundvattensänkningarna en för skiffersvällning gynnsam effekt. Tydligare ändå framgår temperaturens inverkan på skiffersvällning i samband med skador som uppträtt på och i närheten av en varmluftskanal i samma kraftverk. Omslutningsväggarna till kanalen med  $1 \text{ m}^2$  tvärsnittsytta demolerades kraftigt vilket framgår av fig. 17. Varmluften läckte ut och orsakade svällning i närheten av kanalen med golvlyftningar på upp till 14 cm. Varmluftskanalen har även utsatts för horisontella rörelser då skiffersvällningen sker i samtliga riktningar. Vid Österängsskolan har en yttergrundmur tryckts inåt så kraftigt att förstärkningar blivit nödvändiga (fig. 18). Skadeorsaken antas vara att skiffer använts som återfyllning.



Fig. 18. Källaryttervägg i Österängsskolan som förstärkts med stålprofiler mot jordtrycket.

### 3. LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR.

#### 3.1 Kemiska analyser.

Prov på Östersundsskiffer har tagits på ett flertal platser i staden, se fig. 1, och analyserna har utförts dels vid Norges Geotekniska Institut och dels vid Statens Provningsanstalt i Stockholm. En sammanställning av analyserna redovisas i **tabell 2.**

Av tabellen framgår att de olika provernans kemiska sammansättning varierar högst betydligt.

I en och samma provgröp med en halv meters radie kan man på en nivåskillnad av ca 20 cm plocka ut provbitar med så varierande sammansättning som prov nr 2 och 3 i objekt nr 2. Svällningen var här betydande och orsakade stora skador. Beträffande Östersundsskiffern är det därför inte möjligt att med hjälp av en kemisk analys avgöra om det finns risk för skador eller inte i den schakt man undersöker.

En jämförelse med Osloskiffern visar att halten av totalt svavel och magnetkis är lägre hos Östersundsskiffern.

Den förutsätts därför uppvisa mindre svällningsrörelser och ett långsammare svällningsförlopp. Dessa antaganden styrks av en jämförelse mellan vad som redovisats i publikation nr 22 från Norges Geotekniska Institut och det som redovisas i det följande.





Objekt Nr	Prov Nr	Halt svavel totalt %	Halt "magnetkis- svavel" %	Halt svavel som löslig sulfat %
1	1	1,56	0,011	0,12
	2	2,35	0,018	0,039
	3	2,17	0,065	0,14
	4	1,29	0,05	0,12
2	1	0,85	0,010	0,035
	2	1,06	0,026	0,032
	3	1,42	0,074	0,353
	4	1,10	0,016	0,077
3	1	1,79	0,038	0,35
	2	0,21	0,032	0,032
4	1	0,14	0,01	----
	2	0,26	0,01	----
	3	1,38	0,05	----
5	1	0,98	0,04	----
6	1	1,24	0,04	----
7	1	1,38	0,01	----
8	1	0,27	0,01	----
	2	2,60	0,07	----
9	1	0,19	0,002	0,021

Tabell 2. Analyser av Östersundsskifferns svavelhalt.

### 3.2 Svällningsmätningar.

De kemiska reaktioner som redovisats i kap. 1.4.8 visar vilka faktorer som påverkar skiffersvällningen. Det krävs bl.a. samtidig närvaro av magnetkis, vatten och syre. Mätningar har gjorts för att söka klarlägga skiffersvällningens storlek i relation till dels magnetkishalten och dels vatteninnehållet. Vid det senare provet framgår även syrets inverkan på svällningen. Mätningarna har utförts med den i fig. 3 visade anordningen. Sedan bilden togs har utrustningen placerats på en tjock stålplatta.

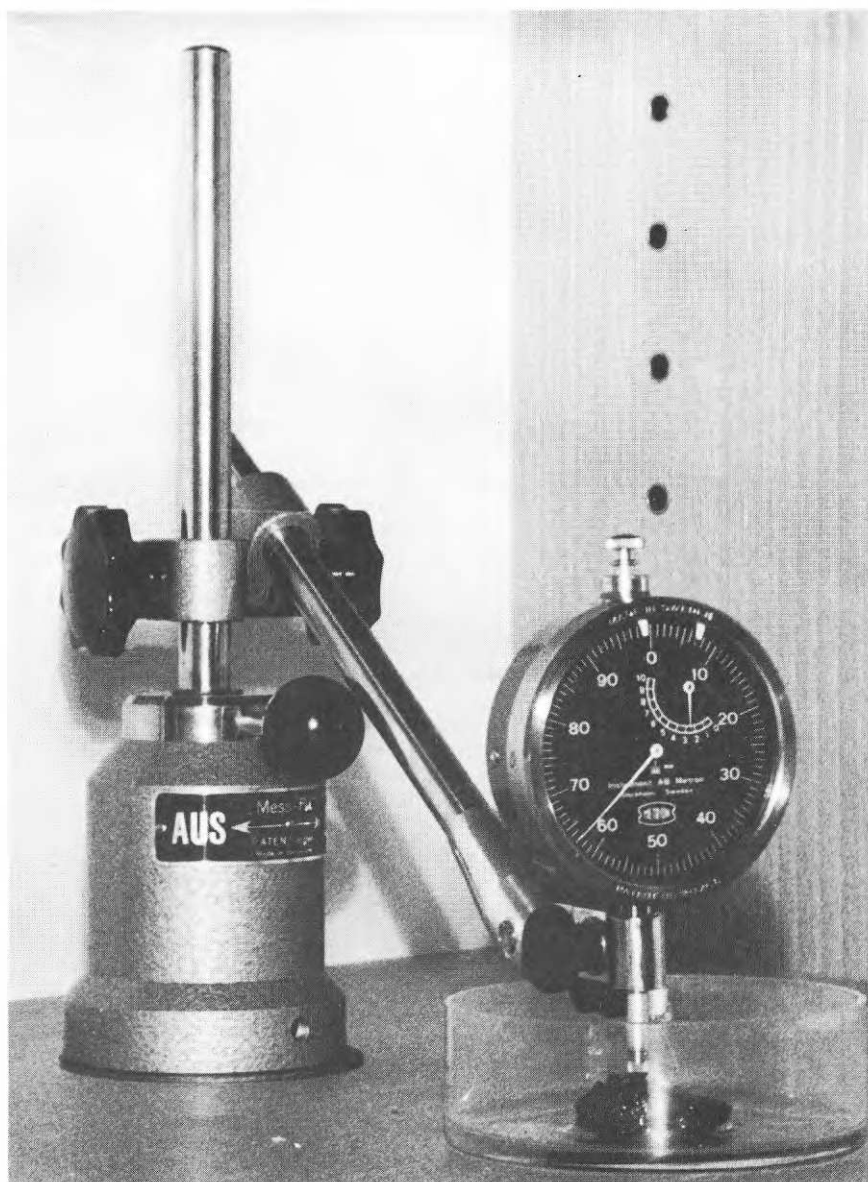


Fig. 3. Anordning för laboriemätning av svällningen. Anordningen har senare monterats på en kraftig stålplatta.

## 3.2.1 Sambandet magnetkisinnehåll - svällning.

I samband med de kemiska analyserna har svällningen mätts på små provbitar enligt fig. 2. Sambandet mellan halten magnetkis, FeS och svällningens storlek redovisas i fig. 4. Svällningen har uppmätts efter en enda fuktning och avser således inte den totala svällningen. Av resultaten framgår att högre magnetkishalt ger större svällning under för övrigt lika villkor. Då Östersundsskifferns sammansättning varierar stort även inom små områden är inte halten magnetkis i ett prov avgörande för bedömning av risken för svällning.

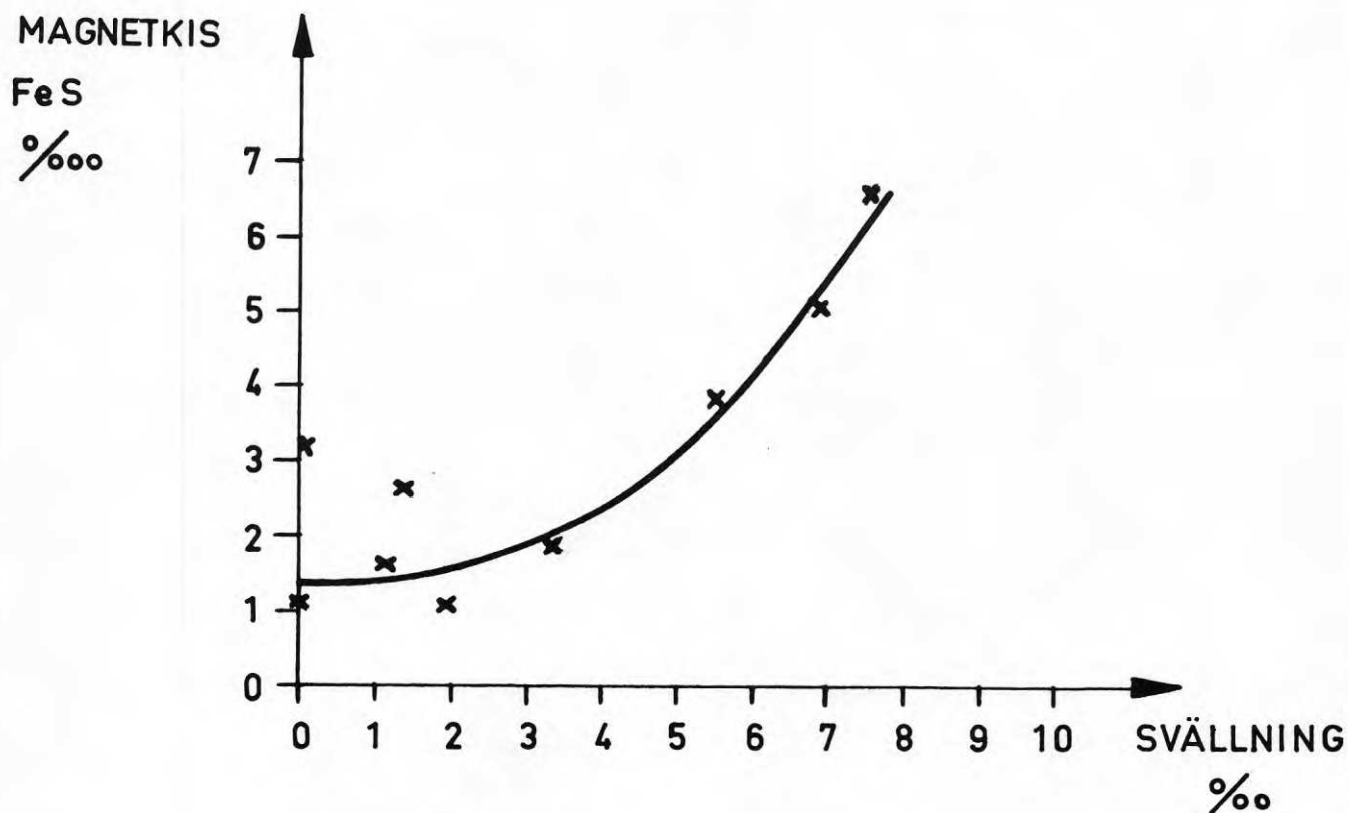


Fig. 4. Sambandet magnetkisinnehåll - svällning.

### 3.2.2 Sambandet vatteninnehåll - svällning.

Skifferprovbiten i fig. 2 har indränkts med vattenledningsvatten och mätklockan har regelbundet avlästs tills allt vatten avdunstat och rörelserna avstannat. Ny fuktning har så skett i ett flertal cykler, upp till drygt hundra för varje provbit. Resultaten framgår av fig. 5 i form av ett diagram för en provbit där ett antal cykler redovisats.

Av de utförda laboratorieproverna framgår att helt torra liksom helt vattendränkta prover inte ger någon svällning, vilket är helt i överensstämmelse med teorierna. Vid fuktning av torra prover sker en språngvis svällning, vilken till största delen är en ren fuktsvällning. Under uttorkningen sker en krympning beroende på fuktavgivning. För varje cykel ökar dock provets höjd något, ca 0,1 - 1 ‰ och ännu efter 80 cykler under ett års tid fortsätter ökningen. Den totala svällningen uppgår då till över 2% utan att svällningsförmågan har avtagit.

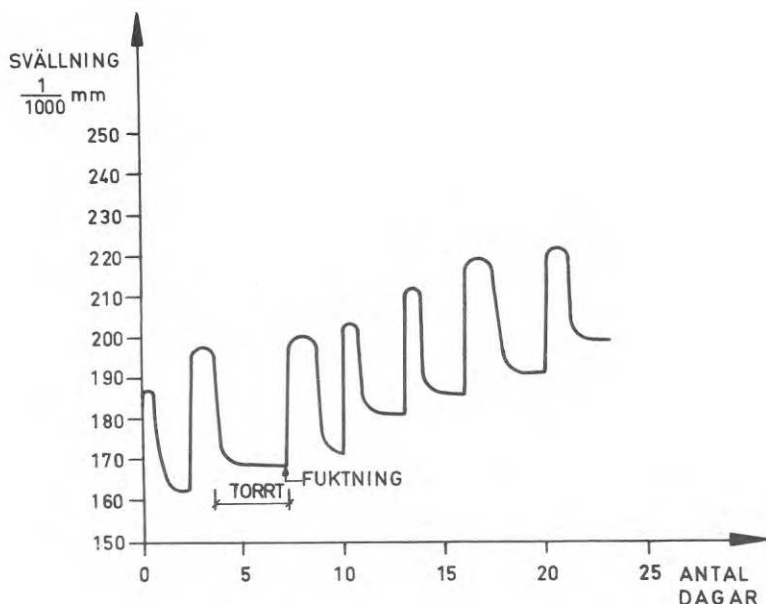


Fig. 5. Svällningsrörelser vid upprepad fuktning och uttorkning av skifferprovbit.

#### 4. FÄLTUNDERSÖKNINGAR

##### 4.1 Beskrivning av området.

En stor del av mätningarna och observationerna har kunnat ske inom ett tämligen begränsat område i Östersunds centrala delar. Detta område liksom staden i sin helhet ligger på en sydvästsluttning av Storsjöns strand. Stora delar av det aktuella undersökningsområdet och dess närhet ger små möjligheter för dagvatten att tränga ned i undergrunden. Gator, gångbanor och många gårdsplaner är asfalterade och bebyggelsen tät. I riktning uppåt staden d.v.s. åt öster är bebyggelsen glesare och där finns goda möjligheter för infiltration i undergrunden.

Skador har varit aktuella i området sedan många år, men först med den senaste bebyggelsens större grundläggningsdjup har skifferskadorna blivit mera omfattande. De byggnader som speciellt studerats ligger i kvarteren Magistern, Postiljonen och Månadsmötet, vilka redovisas i fig. 1 och 2.

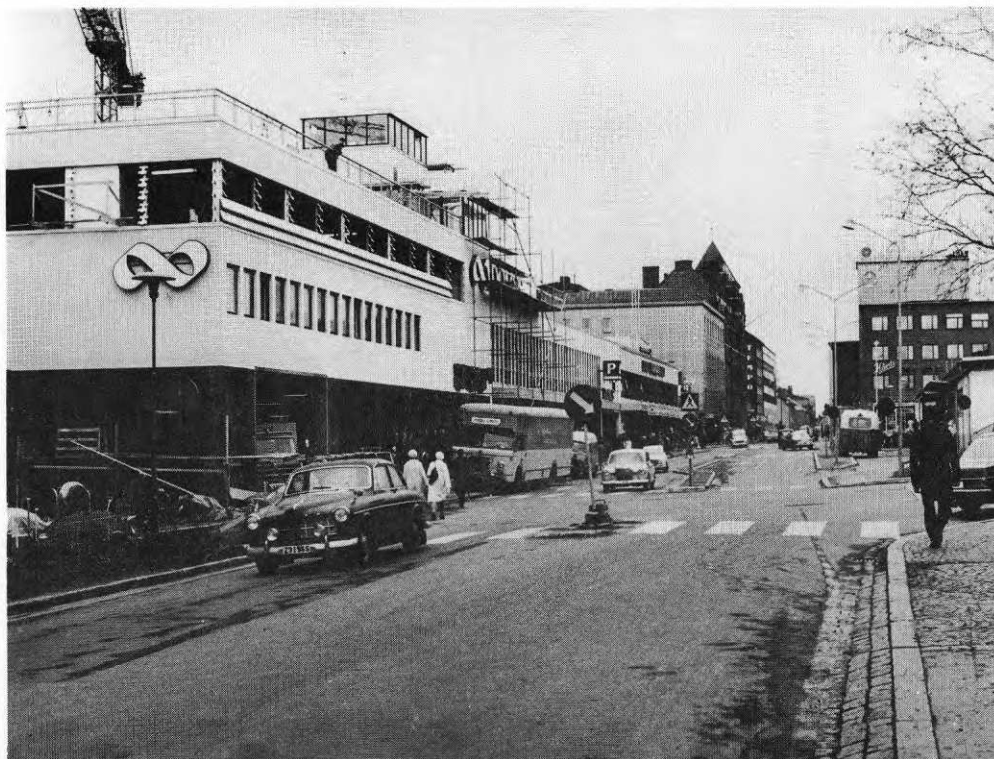


Fig. 1. Vy över det aktuella området utefter Kyrkgatan från söder.

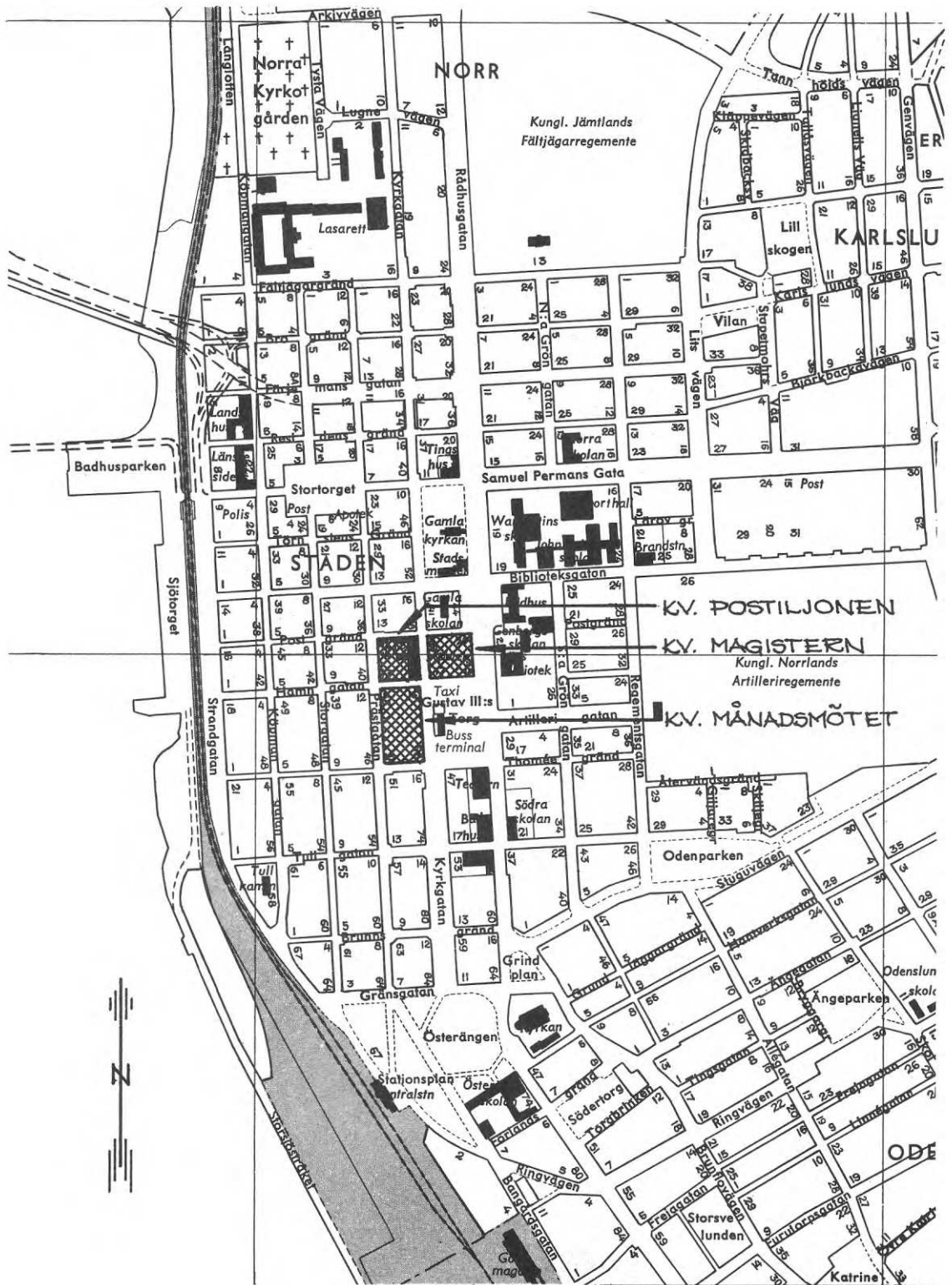


Fig. 2. Undersökningsområdet i centrala Östersund.

I kv. Magistern uppfördes i början av 50-talet en kontorsfastighet på skifferberg. Se fig. 3. Några förebyggande åtgärder för att undvika eventuella skador företogs inte. Grundvattenförande lager fanns i schakten och man fann det nödvändigt att i en speciell grop under källargolvet lägga in en brunn som leder direkt ut i avloppsnetet. Under vissa delar av året i samband med infiltrationsperioden fick den ta hand om det grundvatten som besvärade den lägsta belägna delen av källaren, nämligen pannrumsdelen. Något problem med svällning eller andra rörelser hade man inte förrän i början av 60-talet då en ny byggnad började uppföras i kv. Postiljonen väster om och lägre belägen än kv. Magistern. Detta hus utfördes med 2 källarvåningar och kom därför att vara betydligt lägre grundlagt än kontorshuset i kv. Magistern. För att inte sänka grundvattenytan i området för mycket utfördes den nedersta delen av källarkonstruktionen vattentät. Därutöver placerades i botten på grundläggningen en dräneringsledning som leder till en pumpgrop under nedersta källarens golv. Den ledningen är försedd med en avstängningsventil vid inloppet till pumpgropen. En annan dräneringsledning ledande direkt ut i avloppsnetet placerades på en högre nivå. Ventilen vid inloppet till pumpgropen stängdes inte efter det att man gjutit den vattentäta konstruktionen, vilket efter någon tid ledde till följande iakttagelser i kv. Magistern nr 6. I den speciella observationsgrop där man haft grundvatten stående försvann nu vattnet även vid de tider det normalt brukade stå högt. I källarvåningen märkte man att väggarna fick sprickor, att dörrarna började bli svåra att öppna och att enklare inredning t.ex. trähyllor började deformeras. Man misstänkte att skadorna orsakades av skiffersvällning beroende av den plötsliga grundvattensänkningen varför en utredning startades.



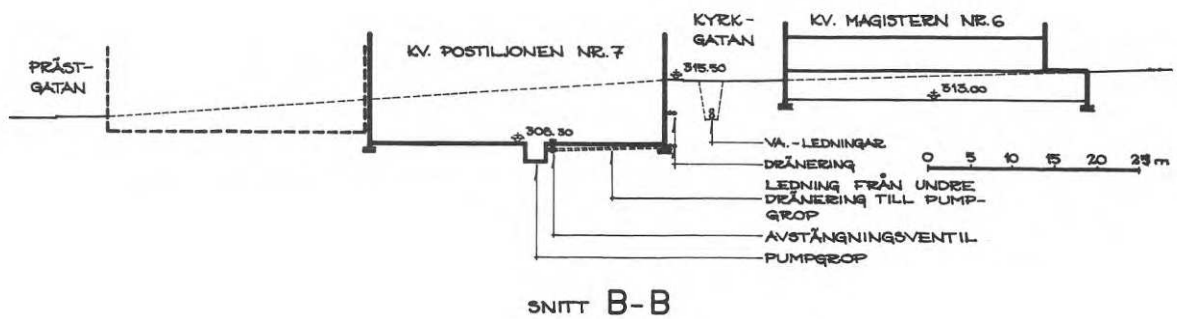
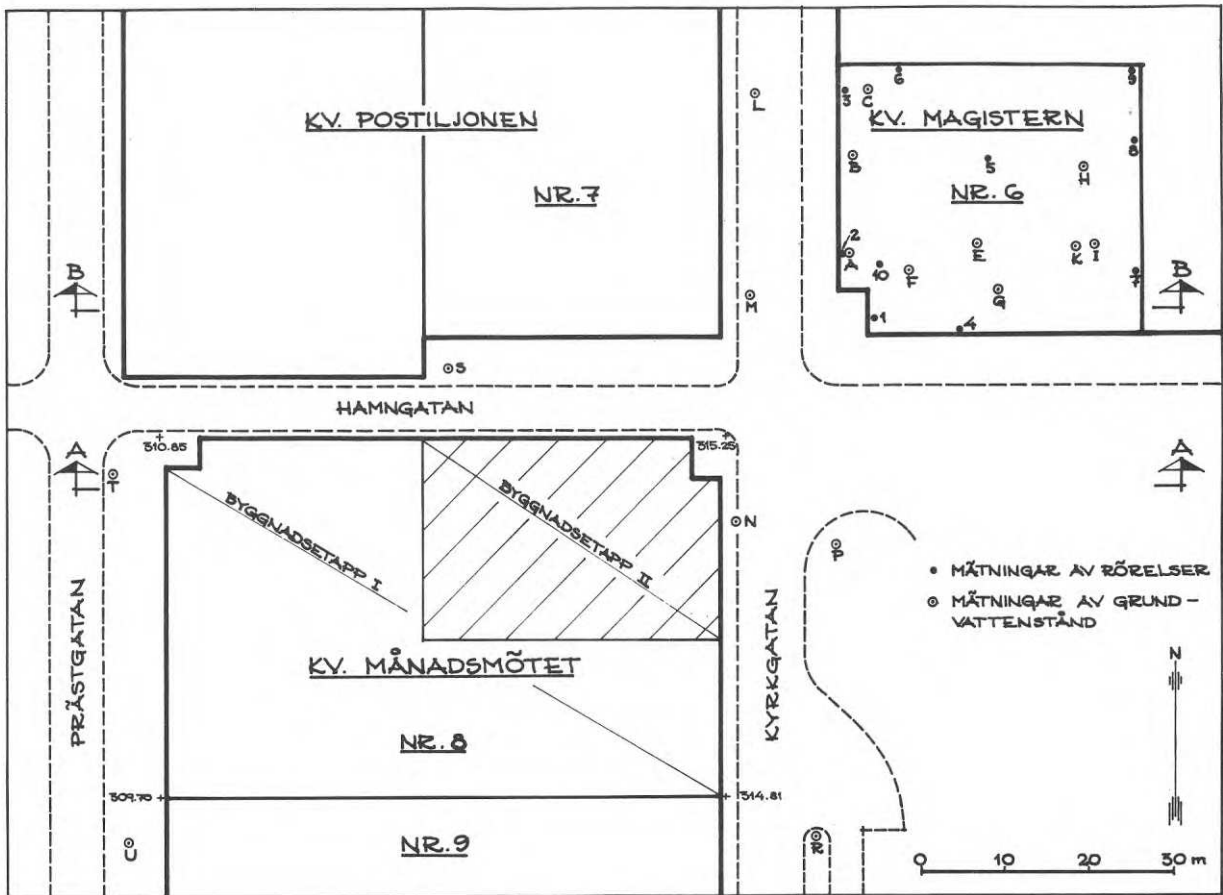


Fig. 3. Plan över och snitt genom det aktuella området.

#### 4.2 Händelser av betydelse för mätningarna.

Mätningarna började den 1.4 1963. Den 1 juni samma år kunde ventilen i pumpgropen i kv. Postiljonen nr 7 stängas och plomberas. Året därpå blev det klart att det angränsande kvarteret Månadsmötet skulle bebyggas. Schaktningen utfördes i två etapper, vilket framgår av fig. 3. Etapp 1 var klar omkring den 10 november 1964. Etapp 2 påbörjades senhösten 1965 och avslutades omkring den 25 mars 1966.

Under mätperioden inträffade självfallet en del intensiva töväder.

Smältvattnet trängde då in i en del observationshål och fyllde dessa. Mätresultaten påverkades kraftigt vid dessa tillfällen, varför de i den kommande redovisningen markeras med streckade linjer.

Schaktningarna för den senaste utbyggnaden i kv. Månadsmötet nr 9 påbörjades under 1969. Den är belägen i kv. Månadsmötets södra del och omfattar ungefär 1/3-del av kvarteret. Denna del är alltså i förhållande till kv. Magistern belägen längst bort. Kortare avbrott i observationer och mätningar beror på reparationer eller omdisponeringar av lokaler.



Fig. 4. Observationsgrop i kv. Magistern nr 6.  
I förgrunden observationsrör F.

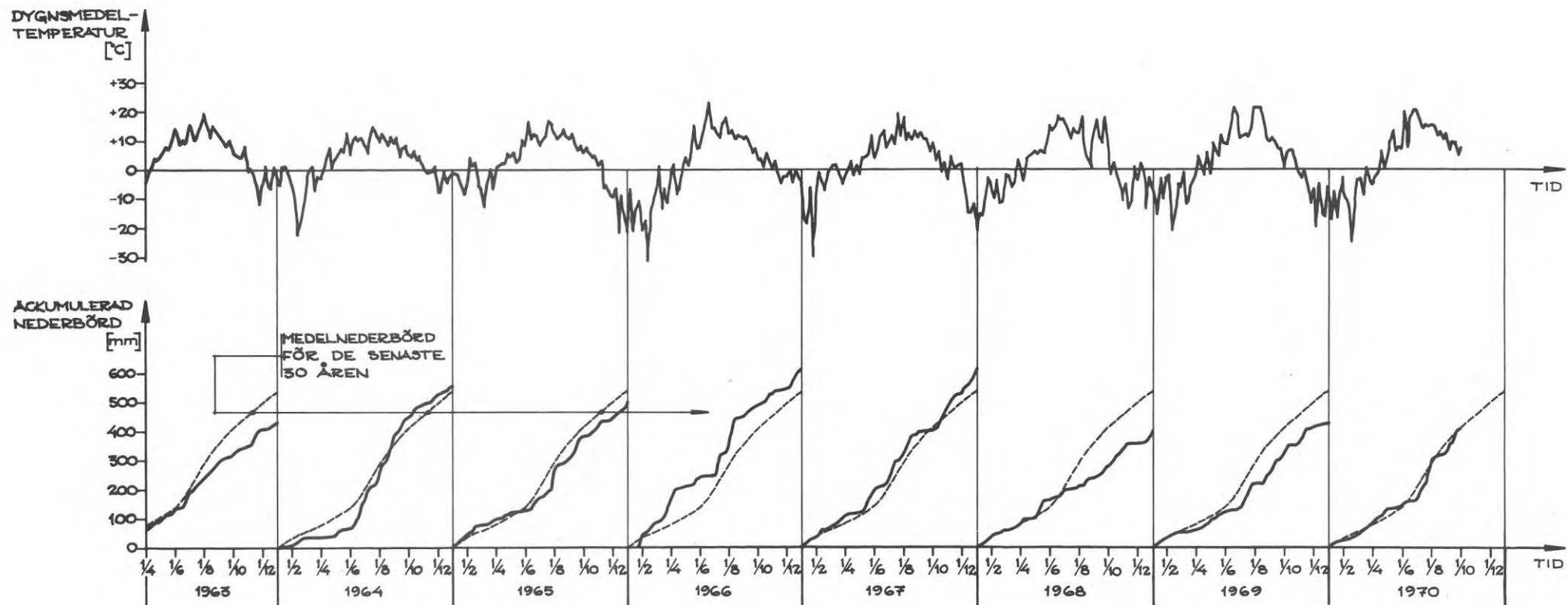


Fig. 5. Diagram över temperatur och nederbörd.

#### 4.3 Temperatur och nederbörd under perioden.

Temperatur och nederbörd under mätperioden redovisas i fig. 5. Nederbörden påverkar huvudsakligen grundvattenföringen under infiltrationsperioden d.v.s tiden från 1/5 till 1/11 varför nederbörden under denna tid redovisas separat i tabell 6. Som jämförelse kan noteras att medelvärdet för tiden 1/5 - 1/11 för de 30 senaste åren är 350 mm nederbörd.

År	Nederbörd i mm under tiden 1/5 - 1/11
1963	260
1964	450
1965	290
1966	320
1967	410
1968	250
1969	260
1970	370

Tabell 6. Nederbörd under infiltrationsperioden 1/5 - 1/11.

#### 4.4 Mätning av grundvattenstånd.

Grundvattenytan i undersökningsområdet har regelbundet observerats under försöksperioden med hjälp av ett flertal mätpunkter. Åtta stycken är placerade utomhus längs Kyrkgatan, Hamngatan och Prästgatan vilket framgår av fig. 2.

På samma figur redovisas de nio mätpunkter som placerats inomhus i kv. Magistern nr 6. Mätpunkterna är utförda som hål borrhade genom jord och lös skiffer ned i skifferberget. Hålen har infordrats med rör av stål för att förhindra att ras sätter igen dem. Inomhus är hålen i vissa fall skyddade genom inbyggnad (se fig. 4) i andra fall genom enkel skyddsanordning. Utomhus var det nödvändigt att skydda hålen mer omsorgsfullt mot trafik och klimatets inverkan. Rören har därför skyddats med betäckningar liggande i gatans plan. Se fig. 7 och 8. Vid vissa tillfällen har luckorna till rören frusit fast så att det varit omöjligt att få upp dem, i andra fall har smältvatten trängt ner i hålen och påverkat mätningarna. Dessa tillfällen har som tidigare nämnts markerats med streckade linjer i den kommande redovisningen.



Fig. 7. Mät punkt för grundvattenobservationer nära nordvästra hörnet av korsningen Kyrkgatan-Hamngatan.

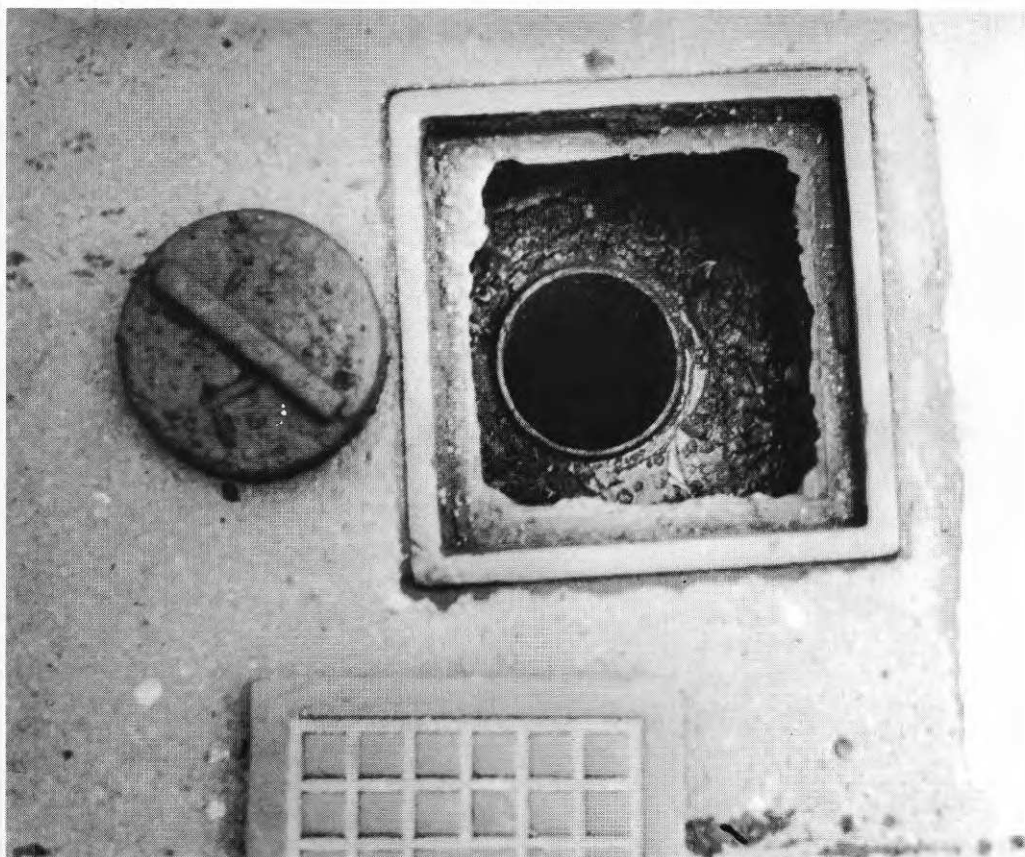


Fig. 8. Rör för grundvattenmätningar med lucka och betäckning.

Själva mätningen har utförts med en måttmarkerad lina, som nedtill är försedd med en metallstång. Den totala längden till rörets överkant avläses i fig. 9 varefter man mäter den våta delen av stången i fig. 10. Då rörets överkant är höjdbestämd erhålles på så sätt grundvattennivån. Mätningarna har som regel företagits en gång per månad. Under intressanta byggnadsskeden i den närmaste omgivningen har mätningarna utförts med kortare tidsintervall. Vid låga grundvattenstånd har grundvattenytan varit lägre än vissa observationshål i hålets djup. Detta har i den följande redovisningen markerats genom att kurvorna är avbrutna under dessa perioder. Se fig. 11 och 12.



Fig. 9. Mätning av grundvattenstånd. Total längd till rörets överkant avläses.



Fig. 10. Mätning av grundvattenstånd. Den våta delen av metallstängen mätes med tumstock.







## 4.5 MÄTNING AV SVÄLLNINGSRÖRELSER

### 4.5.1 Mätning med mätklocka.

Mätningar av svällningsrörelser har skett i punkterna 1-10 i kv. Magistern, vilket framgår av fig. 3. Mätpunkterna 1-9 är placerade på källargolven längs bärande väggar och pelare på ca 50 cm avstånd från dem. Mätanordningen består av ett trebent stativ på golvet med en teleskopiskt skjutbar centrumdel. Överst på denna del finns en platta mot vilken mätklockans spets vilar. Mätklockan är fastsatt på en i väggen fastbultad konsol, se fig. 13. Mätningarna avser alltså den relativa förskjutningen mellan en punkt på golvet och angränsande bärande vägg eller pelare. Varje skaldel på mätklockan motsvarar 1/100 mm. Skattning mellan skalstrecken möjliggör avläsningar på 1/1000 mm men rörelsernas storlek gör det inte nödvändigt att använda större noggrannhet än 1/100 mm.



Fig. 13. Mätklocka fastsatt på en i bärande vägg fastbultad konsol.

Punkt 10 markerar en mätklocka för avläsning av variationen i sprickvidd i en bärande vägg i skyddsrumsdelen av källaren. Av mätklockan i fig. 14 framgår direkt hur stora deformationerna blir i väggen. Fig. 15 visar ett simplare sätt att kontrollera variationer i sprickvidd i väggar.

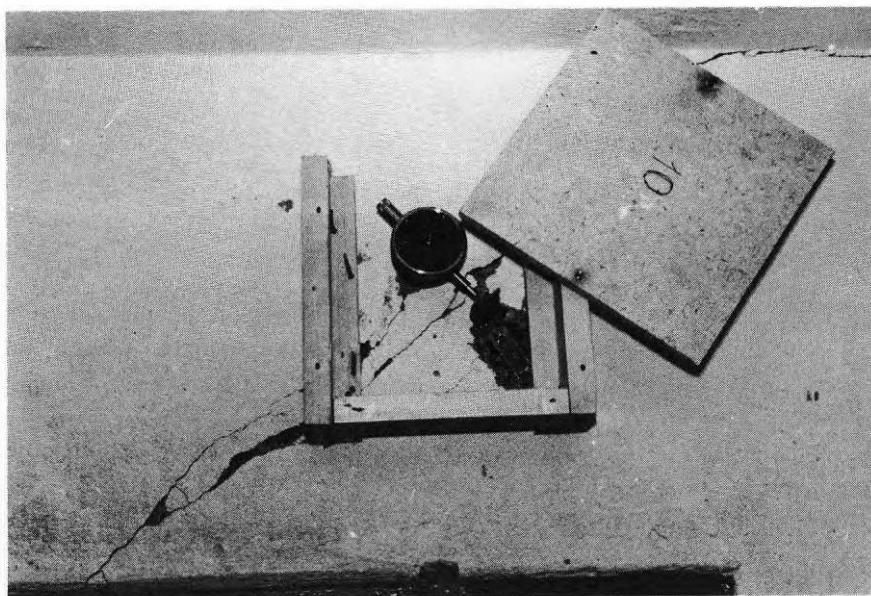


Fig. 14. Mätlocka för mätning av sprickvidd i bärande skyddsrumsvägg av betong.

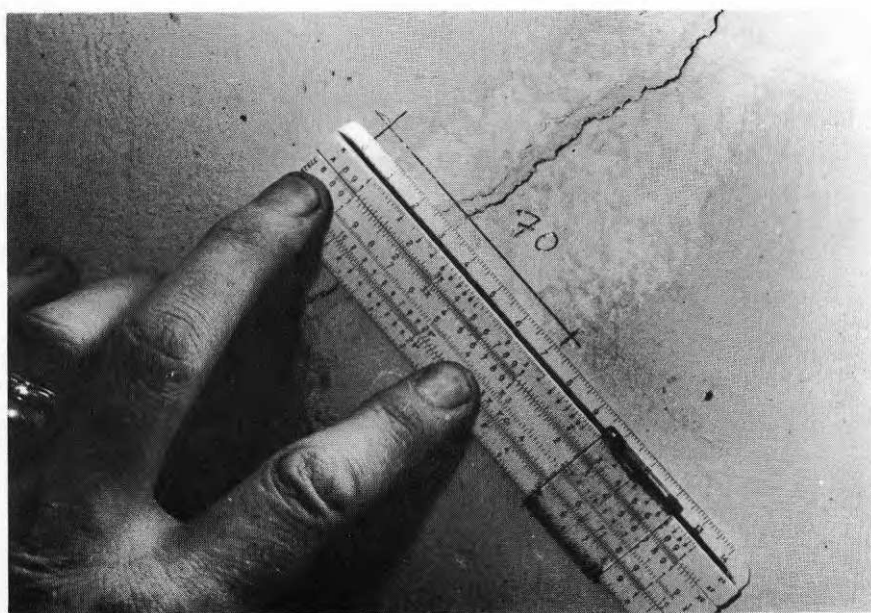


Fig. 15. Kontroll av variation i sprickvidd i bärande betongvägg.

Avståndet mellan mätspets och bärande vägg för de olika mätklockorna framgår av tabell 16.

Klockan	Avstånd i cm
1	28
2	91
3	47
6	51
8	47
9	46

Tabell 16. Avståndet mellan mätspets och bärande vägg.

I fig. 17 redovisas resultaten av klockmätningarna.

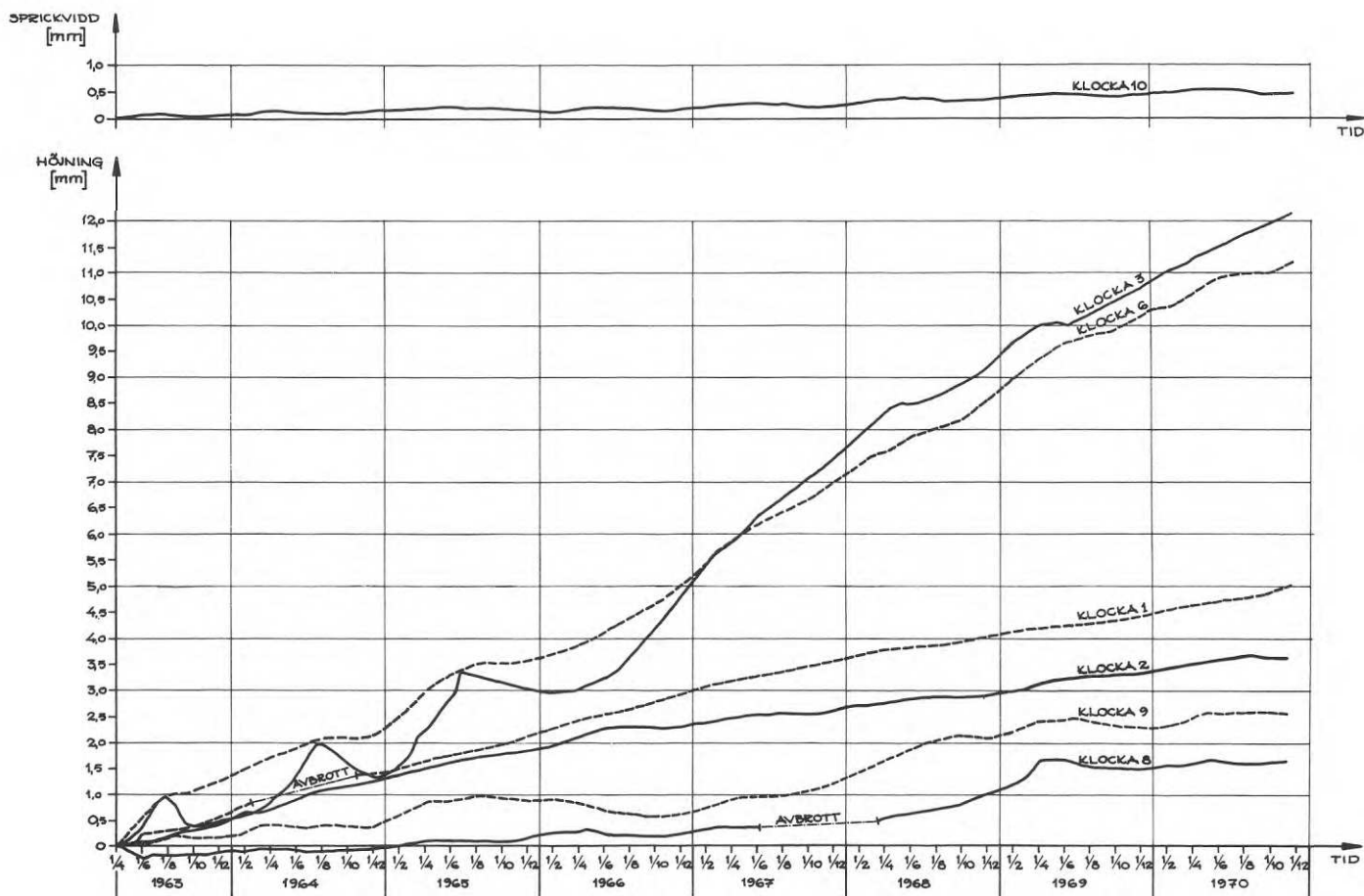


Fig. 17. Diagram över mätning med mätklockor.

## 4.5.2 Mätning med avvägning.

För att få en uppfattning om golvrörelsernas absolutvärde har avvägning utförts på ett flertal punkter. Punkternas placering i byggnaden framgår av fig. 18.

På grund av ombyggnader har mätpunkterna 2 och 4 utgått under mätperioden. Avvägningen är relaterad till stadens fixpunktnät och utförd med stor noggrannhet. I tabell 19 visas resultaten av avvägningarna. Av utrymmesskäl är första höjdsiffran 3 för 300 m.ö.h. utelämnad. Avvägningarna visar överensstämmelse med klockmätningarna. Största höjningarna har skett i punkt 8 med 46 mm vilket innebär en genomsnittlig höjning av 9 mm per år.

Resultaten av avvägningarna i punkterna 6, 7, 8, 9 och 10 visas i fig. 20. I fig. 21 framgår dessa punkters placering i förhållande till omgivande väggar. Minsta svällningen har skett i punkt 10 som är belägen i det minsta rummet vilket är i överensstämmelse med teorin i kap. 2.3. En jämförelse mellan svällningens förlopp i punkterna 6-10 och enligt mätklockorna i fig. 17 visar god överensstämmelse. Mätklockorna kan därför anses väl representera svällningens förlopp för respektive golvyta.

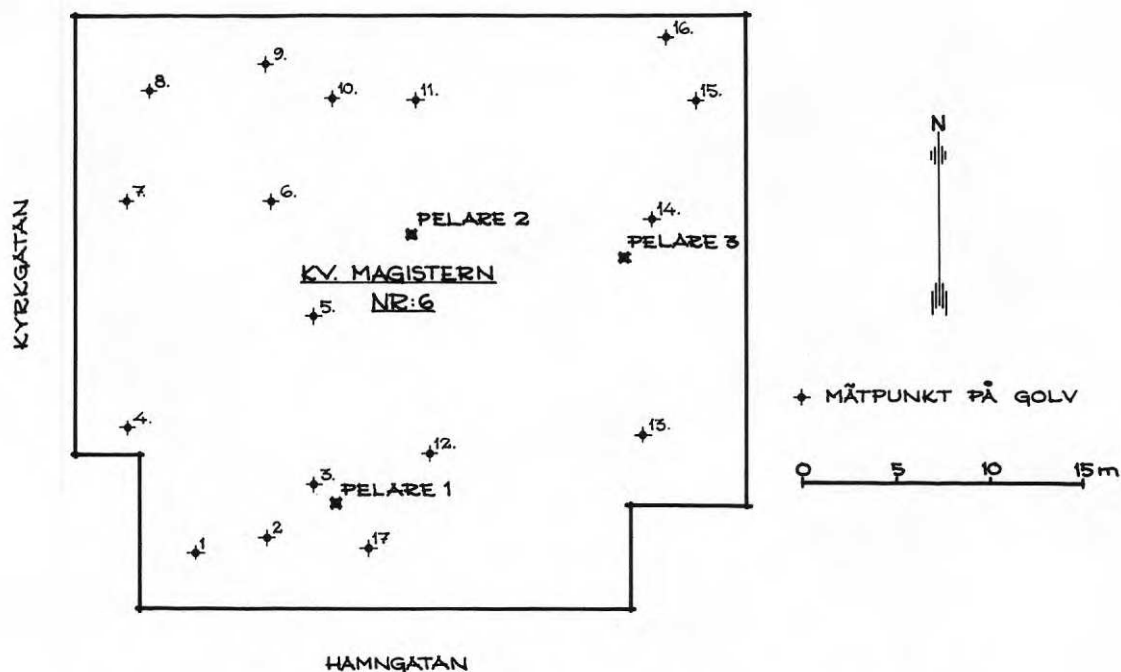


Fig. 18. Avvägda punkter på golv i kv. Magistern nr 6.

Datum	1	3	5	6	7	8	9	10
2/6-65	13.044	13.030	13.007	13.032	13.053	13.039	13.039	12.992
13/9-65	13.030	13.032	13.009	13.033	13.055	13.042	13.039	12.990
1/3-66	12.994	13.029	13.008	13.031	13.055	13.038	13.041	12.993
2/9-66	12.996	13.029	13.008	13.034	13.058	13.045	13.047	12.995
6/3-67	13.000	13.031	13.011	13.036	13.061	13.051	13.046	12.992
4/9-67	12.998	13.031	13.010	13.033	13.061	13.055	13.048	12.993
28/2-68	13.003	13.031	13.010	13.037	13.067	13.064	13.054	12.996
5/9-68	13.005	13.030	13.011	13.039	13.072	13.072	13.055	12.995
27/2-69	13.004	13.032	13.013	13.040	13.073	13.075	13.061	12.995
2/9-69	13.005	13.031	13.018	13.042	13.074	13.078	13.063	12.998
2/3-70	13.008	13.033	13.017	13.043	13.077	13.081	13.066	12.998
1/9-70	13.011	13.035	13.017	13.048	13.078	13.085	13.071	12.999

Datum	11	12	13	14	15	16	17
2/6-65	12.979	13.616	13.009	13.008	14.425	14.415	13.009
13/9-65	12.978	12.620	13.011	13.007	14.428	14.408	13.011
1/3-66	12.980	12.617	13.012	13.008	14.422	14.412	13.006
2/9-66	12.983	12.618	13.009	13.009	14.423	14.414	13.010
6/3-67	12.980	12.617	13.009	13.009	14.422	14.413	13.010
4/9-67	12.979	12.616	13.011	13.008	14.419	14.410	13.012
28/2-68	12.982	12.616	13.010	13.007	14.422	14.412	13.013
5/9-68	12.980	12.616	13.010	13.011	14.426	14.413	
27/2-69	12.980	12.618	13.007	13.011	14.426	14.413	
2/9-69	12.980	12.622	13.008	13.014	14.426	14.412	13.024
2/3-70	12.982	12.618	13.008	13.012	14.426	14.410	13.026
1/9-70	12.983	12.621	13.007	13.012	14.427	14.412	13.032

Tabell 19. Avvägning av golvhöjder i kv. Magistern nr 6. Höjd i meter.

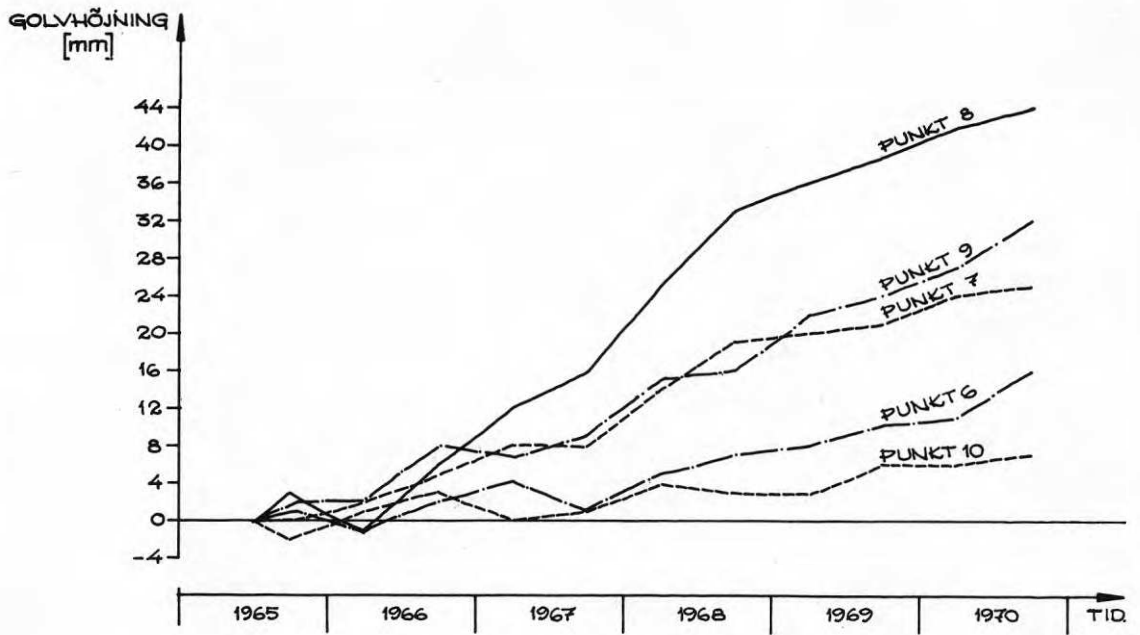


Fig. 20. Diagram över avvägningarna av punkterna 6-10.

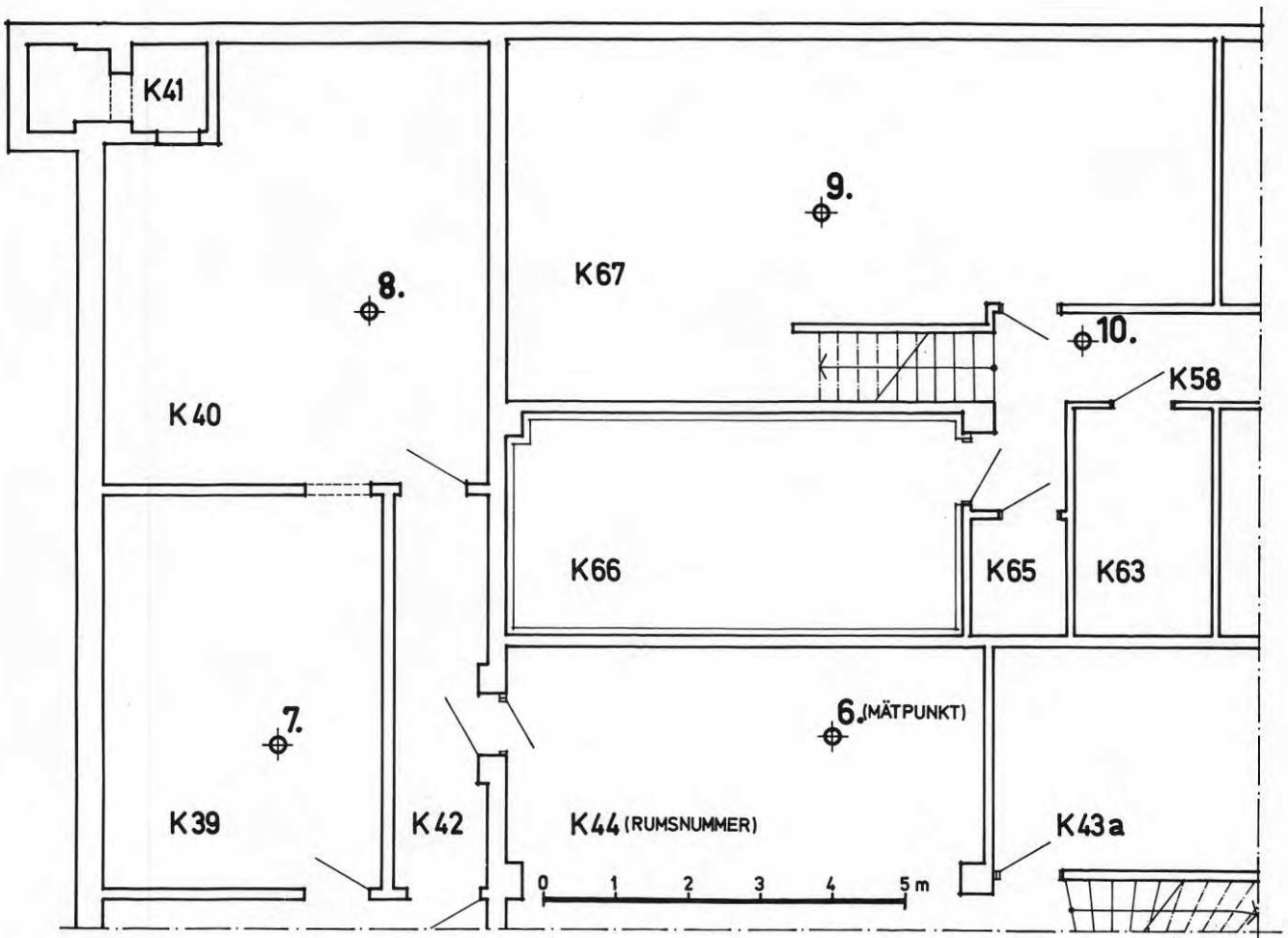


Fig. 21. Plan visande punkterna 6-10.



#### 4.6 Mätning av svällkrafter.

För att mäta svällkrafterna avsågs att göra laboratorie-försök på uppborrade kärnor av fast skifferberg. P.g.a skifferns karaktär, vilken väl framgår av fig. 14, kap. 1 var det emellertid omöjligt att få ut hela borrhärnor varför försöket ej kunde utföras.

I stället utfördes ett försök med belastning av skiffer in situ med apparatur enl. fig. 22. Försöket bedrevs i källaren i kv. Magistern nr 6 i samma rum som mätklocka 2 och observationspunkt A. En metallplatta med diametern 4 cm och arean  $3,14 \text{ cm}^2$  belastades med vikter från en sondborrtröstning. En mätklocka i toppen av stängen registrerade rörelsen. P.g.a att lokalen disponerades endast en kort tid kunde belastningen inte varieras i önskvärd omfattning. Resultaten av mätningarna framgår av fig. 23. Högsta påförda belastningen uppgår till 40 kp motsvarande ett tryck av ca  $13 \text{ kp/cm}^2$  mot skiffern. Den lilla tryckytan gör att detta värde inte är synonymt vilket visas i kap. 4.7.3. Fig. 23 kan därför inte göra anspråk på att mer än att visa överensstämmelsen mellan olika mätningar i samma rum. Tillförlitligare mätningar av svällkraften genom avvägningar av bärande grundpelare redovisas i kap. 4.7.3.

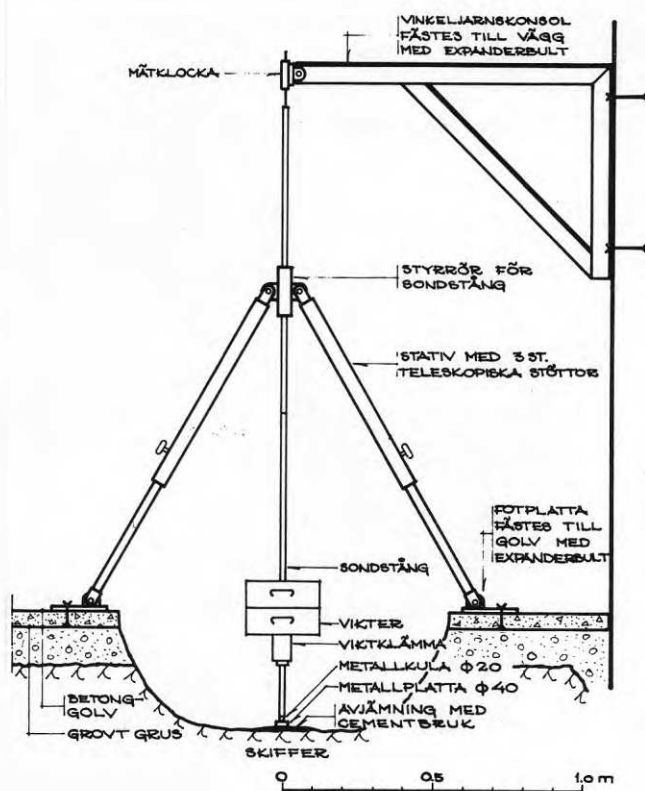


Fig. 22. Försöksanordning vid provbelastning.

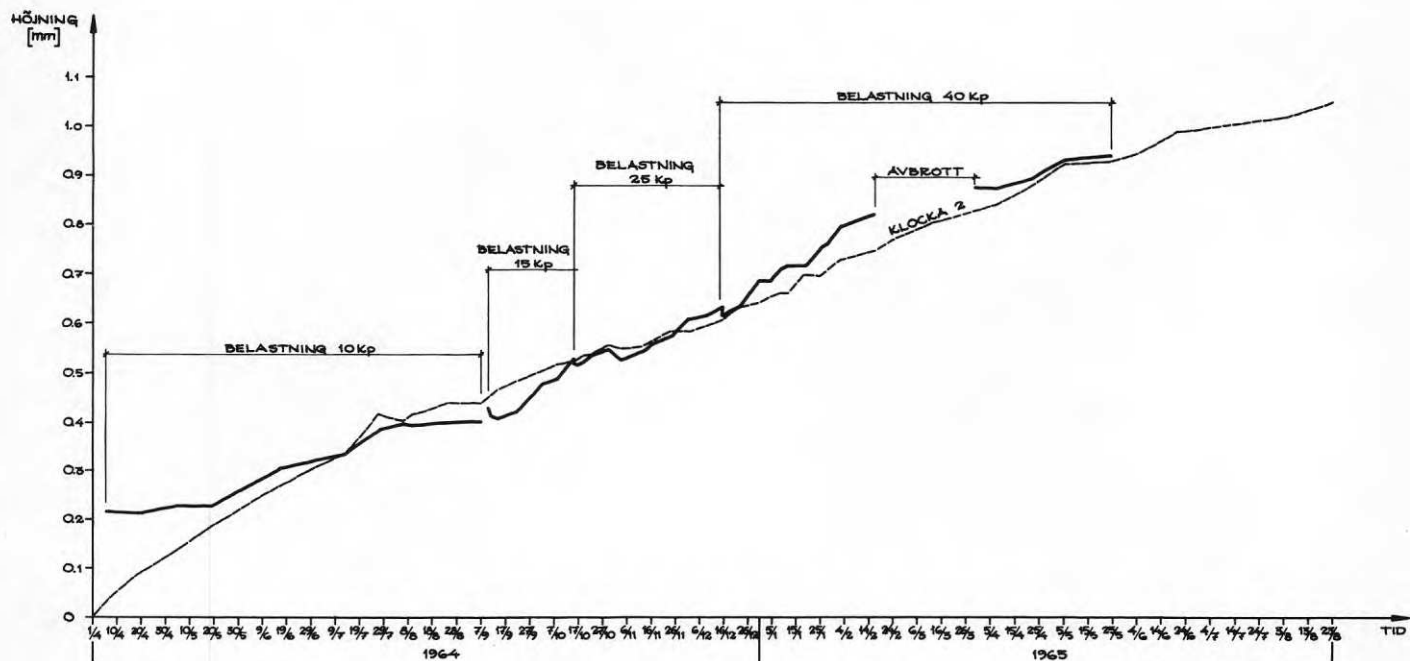


Fig. 23. Diagram över provbelastning.

#### 4.7 SLUTSATSER.

##### 4.7.1 Sambandet nederbörd-grundvattennivå.

Som framgår av diagrammen i fig. 11 och 12 stiger grundvattennivån kraftigt under infiltrationsperiodens början för att under dess senare del stabiliseras. Under vinterhalvåret sker sedan helt naturligt en grundvattensänkning. Mera intressant är att notera den gradvisa kraftiga sjunkningen under åren 1963-1968 av grundvattenståndet. Den närliggande nybebyggelsen kan därför misstänkas ha haft en dränerande inverkan och sänkt grundvattenytan till en permanent lägre nivå. Den årliga nederbördsvariationen som framgår av fig. 5 och tabell 6 har däremot endast haft kortvarig inverkan. Den normala nederbörds mängden under infiltrationsperioden (350 mm) överskreds kraftigt 1964 (450 mm) vilket resulterade i att grundvattenståndet 1964 tidvis var högre än 1963 trots att schaktningsarbeten påbörjats i kv. Månadsmötet. Under de följande årens mera normala nederbörds mängder sker däremot en kraftig grundvattensänkning vilken under de två senaste åren stabiliserats till en ca 2 m lägre grundvattennivå.

#### 4.7.2 Sambandet grundvattennivå-svällning.

Som tidigare framhållits är villkoren för skiffersvällning förutom skifferns sammansättning samtidig närvaro av vatten och syre. I kapitel 3 har Östersundsskifferns sammansättning redovisats och mätningarna av grundvattennivåns variationer avser att klargöra svällningens beroende av vatten och syre. De redovisade sambanden framträder i olika hög grad vid de olika mätpunkterna. I västra delen av byggnaden i kv. Magistern (fig. 3) med punkterna 1,2,3 och 6 har avståndet till grundvattenytan varit störst liksom variationerna i grundvattenstånd. I byggnadens östra del med mätpunkterna 7,8 och 9 har grundvattenytan varit högst. Mätklocka 4 och 7 fick efter kort tid nedmonteras på grund av omdisponering av lokalerna. Av diagrammet i fig. 17 framgår att svällningen varit minst vid mätklocka 8 och 9 i den östra delen. Svällningsrörelserna i de båda punkterna är likartade men något större i punkt 9. Differensen är dock högst 1 mm under mättiden. Under de tre första åren har grundvattenytan i huvudsak legat i nivå med skifferytan i punkt 8, varför svällningen då är obetydlig. Av diagram i fig. 11 framgår att grundvattennivån i den närbelägna observationspunkten H sakta sjunker 30 cm från augusti 1966 till mars 1967. Detta ger utslag på mätklocka 8 som registrerar en svällning som avstannar när grundvattenytan stabiliserats på en lägre nivå. Samma förlopp kan avläsas på mätklocka 9. De svällningar som skett i den östra delen har inte haft någon skadlig inverkan på byggnaden. Däremot är skadorna på den västra delen betydande. Golven har buktat upp kraftigt och av avvägningarna framgår att den maximala golvhöjningen är ca 5 cm på 5 år. Lätta icke bärande källarväggar har krossats och föranlett reparationer. Diagrammet i fig. 17 visar att även mätklockorna i denna del av byggnaden gett stora utslag. Klocka 1, som på grund av reparation (se kap. 5.3) var ur bruk en tid, redovisar mindre svällning troligen beroende på det korta avståndet till bärande vägg i jämförelse med klocka 3 och 6. Mätklocka 2 visar också måttliga svällningar trots att skadorna i den delen har varit ganska omfattande. Detta förklaras troligen av att klockan är placerad i ett litet utrymme omgivet av bärande skyddsrumsväggar, som bidragit

till att hålla svällningen nere. En jämförelse mellan svällningen i klocka 2 och grundvattenståndet i den närliggande observationspunkten A visar ett liknande samband som tidigare redovisats för klocka 8 och 9 men med mindre utslag. Mätklocka 10 visar också god överensstämmelse med klocka 2. Att rörelserna är mycket små beror på att klockan är monterad på vägg (fig. 14) och direkt mäter sprickviddens variation i en bärande skyddsrunsvägg.

De karaktäristiska svällningsrörelser som klocka 3 och 6 redovisar ger intressanta slutsatser vid en jämförelse med grundvattenståndet i den närliggande punkten C. Under de tre första åren kan man notera en årligen återkommande periodisk svällning och sjunkning i takt med grundvattenståndets variation. Detta samband orsakas av att det närmast under källargolvet finns ett lager lös och vittrad skiffer. Av det stigande grundvattnet blir den vittrade skifferns volym större och en temporär svällning sker. Skiffern sammanpressas sedan när grundvattenytan ånyå sänks. Av diagrammen framgår emellertid att mätklockorna registrerar en sjunkning redan innan grundvattennivån börjat sjunka. Detta kan bero på att den lösa skiffern sammanpressas av trycket från de kapillär- ytor som utbildas när grundvattnet börjar avdunsta. På så sätt skulle sjunkningen börja redan när grundvattenstigningen avstannar.

Denna temporära svällning och sjunkning avtar allteftersom grundvattenytan sänks för att så småningom upphöra. De bestående svällningarna visar däremot ingen avtagande tendens utan en relativt jämn höjning. Det är uppenbart att grundvattenståndets variation har en avgörande betydelse för svällningens storlek och förlopp under för övrigt lika förhållanden. Av diagrammet i fig. 20 framgår att de avvägningar som utförts under tiden 1965-70 visar god överensstämmelse med klockmätningarna. Svällningarna har alltså varit minst i byggnadens östra del där grundvattenytan varit högst och störst i den västra delen där grundvattenytan har varit lägst samt haft de största variationerna.

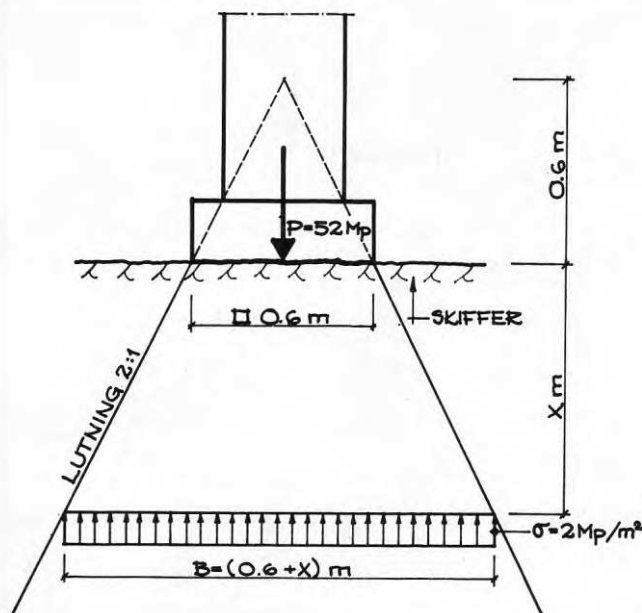


Fig. 24. Tryckutbredning under kvadratisk grundplatta.

Antagen volymvikt =  $2,1 \text{ ton/m}^3$

$$Q = \left[ \frac{(0,6 + x)^2 \cdot (0,6 + x)}{3} - \frac{0,6^2 \cdot 0,6}{3} \right] \cdot 2,1$$

$$Q = \frac{(0,6 + x)^3 - 0,6^3}{3} \cdot 2,1$$

Termen  $0,6^3$  är liten och kan försummas.

$$Q = \frac{(0,6 + x)^3}{3} \cdot 2,1 = (0,6 + x)^3 \cdot 0,7$$

$$\frac{P + Q}{B^2} = \sigma \quad \text{med } \sigma = 20 \text{ Mp/m}^2 \text{ enl. kap. 4.7.3}$$

$$\frac{52 + (0,6 + x)^3 \cdot 0,7}{(0,6 + x)^2} = 20 \quad \text{varur } \underline{x = 1,1 \text{ m}}$$

(För  $P = 101 \text{ Mp}$  blir  $x = 2,0 \text{ m}$ ).

För en pelarlast av  $52 \text{ Mp}$  med ett grundtryck motsvarande  $14,5 \text{ kp/cm}^2$  erfordras endast ett  $1,1 \text{ m}$  tjockt skifferlager utsatt för svällning för att pelaren skall lyftas. Om lasten är  $100 \text{ Mp}$ , motsvarande ett grundtryck av  $28 \text{ kp/cm}^2$ , erfordras ett skifferlager av  $2,0 \text{ m}$  tjocklek. Av diagrammen över grundvattenståndets variation i fig. 11 och 12 framgår att grundvattenytan under de senaste 5 åren legat på erforderligt djup för att svällningen skall ha kunnat ske på det sätt som beskrivits.

#### 4.7.3 Sambandet svällning-svällkraft.

Norska undersökningar av byggtekniska problem med Oslo-området alunskiffer har bl.a. påvisat den lyftkraft som skiffersvällningen haft på en större byggnad. Svällkraften har på ca 1000 m<sup>2</sup> bottenarea motsvarat 20-30 Mp/m<sup>2</sup>. Ett bjälklag i en ordinär byggnad har vanligen inte en tyngd överstigande 1 Mp/m<sup>2</sup> inberäknat nyttig last. Om väggarna förutsätts ha likastor tyngd så skulle varje våning belasta undergrunden med 2 Mp/m<sup>2</sup>. För att komma upp till en belastning på 20 Mp/m<sup>2</sup> skulle en byggnad med 10 våningar behövas. Några försök att byggnadstekniskt fastställa den belastning som krävs för att helt förhindra skiffersvällning har veterligen inte gjorts. Däremot är det konstaterat att svällningen minskar vid ökad belastning. Men att även hårt belastade pelare utsätts för lyftning har konstaterats i kv. Magistern. Tre stycken bärande grundpelare har kontrollavvägts under tiden 1965-70. Grundtrycket på plattorna under pelarna är 14, 16 och 28 kp/cm<sup>2</sup> och plattorna är kvadratiska med arean 0,36 resp. 1,0 m<sup>2</sup>. Vid avvägningarna har konstaterats att de två minst belastade pelarna har höjts 8 resp. 7 mm medan den högst belastade har höjts 4 mm under de 5 åren. Avvägningarna är relaterade till stadens fixsystem och är utförda med precisionsinstrument. Det är enligt dessa mätningar praktiskt omöjligt att med hjälp av belastningar helt motverka svällningar. Att även en pelare som ger ett grundtryck på 280 Mp/m<sup>2</sup> kan lyftas visas i följande beräkning.

Fig. 24 visar en pelare på kvadratisk grundplatta. Grundtrycket antages utbreda sig i lutning 2:1 vilket är i nära överensstämmelse med elasticitetsteorin. Lyftkraften på djupet  $x$  m antages vara  $2 \text{ kp/cm}^2 = 20 \text{ Mp/m}^2$  (enl. de norska erfarenheterna).

## 5. FÖRSÖK MED FÖREBYGGANDE ÅTGÄRDER.

### 5.1 Allmänt.

Att göra fältförsök med förebyggande åtgärder mot skiffersvällning medför stora kostnader. Det har därför inte varit möjligt att genomföra fristående försök, utan de har kombinerats med ny- eller ombyggnad. Tack vare berörda fastighetsägares intresse och välvilja har vidtagna alternativa utföranden kunnat följas upp och effekterna studeras. De försök med olika utföranden som gjorts under perioden 1963-70 kompletterar dock varandra, så att flera olika alternativ nu kan läggas till grund för ställningstagande om lämpliga åtgärder.

En metod som tillämpas i Oslo är asfaltstrykning av skifferytan i avsikt att utestänga syret. Metoden som är enkel synes där vara framgångsrik. P.g.a att Östersundsskiffern är så sönderbruten, se fig. 1, är det inte möjligt att använda denna metod.



Fig. 1. Detalj av schakt i Östersundsskiffer.



En annan metod som ligger nära till hands för att undvika skadlig svällning av källargolven är att utföra dessa som fribärande, men metoden har inte kunnat prövas. Med de i kap. 4.6 redovisade svällkrafterna på upp till  $280 \text{ Mp/m}^2$  kan visserligen de bärande delarna på sikt lyftas men risken för skador synes liten.

Eftersom samtidig närvaro av syre (luft) och vatten erfordras för svällning är det en tillräcklig åtgärd att utestänga en av dessa faktorer. Då vatten innehåller högst 10 mg syre/liter sker i vattendränkt skiffer endast en obetydlig oxidation. Enklaste sättet att utestänga syret är alltså att hålla skiffern under vatten. Resultat av två sådana försök redovisas i kap. 5.2.1 och 5.2.2.

Ett försök att med hjälp av lera täta skifferberget mot utdränering redovisas i kap. 5.2.3. Andra försök att utestänga syre visas i kap. 5.2.4 där bergytan tätats med sprutbetong och i kap. 5.2.5 där plastfolie använts som tätningsmaterial.

Resultaten av ett försök med ett dämpande lager av mineralull under källargolvet redovisas i kap. 5.3. Erfarenheter från nedkylning av skiffer redovisas i kap. 5.4 och exempel på alternativ golvkonstruktion ges i kap. 5.5.

Att i tillräcklig grad utestänga vatten (fukt) från grunden har bedömts vara praktiskt omöjligt och något sådant försök har inte gjorts.

## 5.2 FÖRSÖK MED ATT UTESTÄNGA SYRE.

### 5.2.1 Infiltration med grundvatten.

I samband med schaktningen för en bowlinghall i staden kunde man konstatera att skiffern var vittringsbenägen. Uppschaktad fast skiffer vittrade snabbt och rensade delar av schaktbotter var redan efter ett dygn vittrad och lös i ytan. Då kraven på bowlingbanornas planhet är stora var det angeläget att finna metoder mot skiffersvällningen.

Bowlinghallens läge framgår av kartan i fig. 7, kap. 2 där den är markerad som punkt nr 20. Fig. 2 visar byggnaden med bowlinghallen i källarvåningen.



Fig. 2. Byggnad med bowlinghall i källarvåningen.

En ganska kraftig grundvattenström trängde fram i schakten varför man tänkte sig att ta hand om grundvattnet i en grundvattendamm under hela bowlinghallen. Grundkonstruktionen av armerad betong gjöts tätt mot det rensade skifferberget. Från grundvattendammen leddes vattnet i dräneringsledning fram till en pumpgrop där ett enkelt överfall utfördes. Konstruktionen framgår schematiskt av fig. 3.

För att mäta ev. golvrörelser monterades två stycken mätklockor av tidigare visat utförande på pelare mitt i hallen. Fig. 4 visar mätresultaten varav framgår att fränsett den första tiden har ingen nämnvärd svällning skett. Några svällningsskador har heller inte uppstått under den ca 7 år långa mätperioden. Denna metod kan därför rekommenderas.

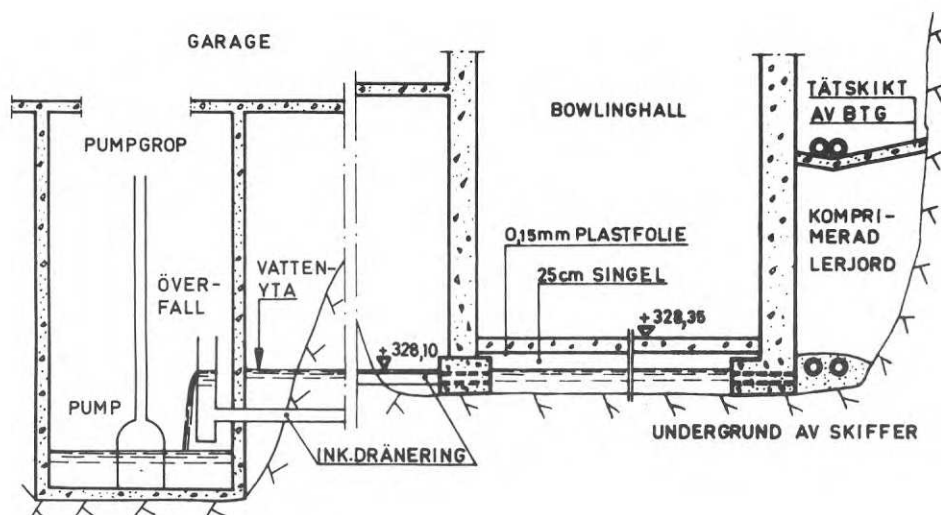


Fig. 3. Grunddammens konstruktion under bowlinghallen.

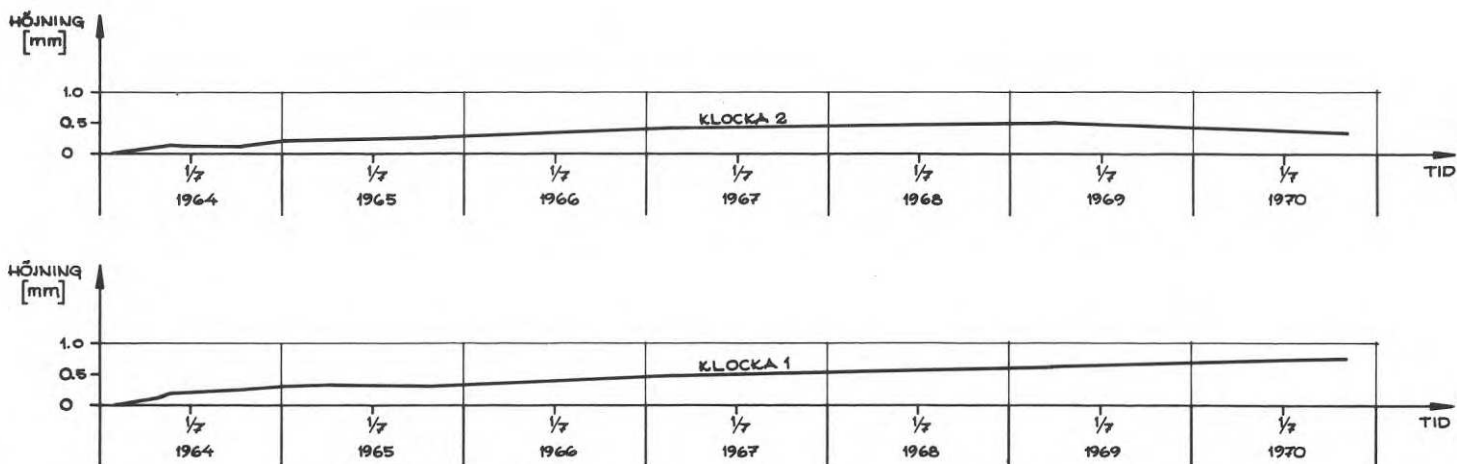


Fig. 4. Diagram över klockmätningar av golvrörelser.

### 5.2.2 Infiltration med vattenledningsvatten.

I samband med schaktningen för nybyggnad i kv. Månadsmötet nr 8, punkt 9 i fig. 7, kap. 2 konstaterades risk för skiffersvällning. Mätningar av grundvattennivån i byggnadens närhet, se kap. 4.4, visade att omedelbar risk inte förelåg för grundvattensänkning under lägsta källargolv ca 10 m under gatunivån. Som en försiktighetsåtgärd utfördes dock en grunddamm i princip lika den som redovisats i kap. 5.2.1. Tillrinningen av grundvatten var liten varför man förberedde för infiltration med vattenledningsvatten. I fig. 5 ses nedersta källarvåningen i kv. Månadsmötet nr 8 med golv på skiffer.



Fig. 5. Nedersta källarvåningen i kv. Magistern nr 8.

Grunddammens konstruktion framgår av fig. 6. Som tidigare beskrivits och detaljerat redogörs för i kap. 5.2.3 är utrymmet mellan grundmur och skifferberg fyllt med packad lera men detta har inget att göra med grunddammens funktion.

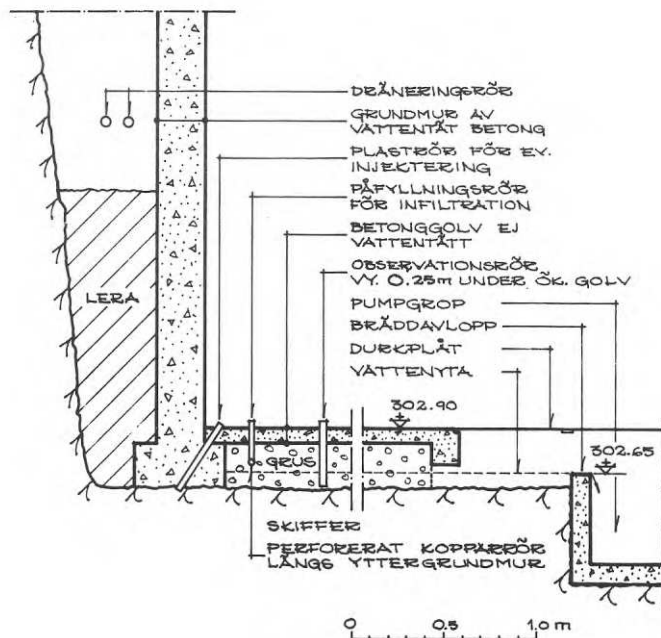


Fig. 6. Snitt genom grundmur och källargolv med pumpgröp.

Infiltrationen sker via ett perforerat kopparrör under källargolvet längs en yttergrundmur (längs Kyrkgatan, se fig.3 kap.4). Påfyllning sker genom ett rör kopplat till vattenledningsnätet. Röret är försett med särskild vattenmätare, se fig.7. Anordningen har hittills fungerat oklanderligt.



Fig. 7. Påfyllningsrör med särskild vattenmätare.

I ett antal observationsrör i golvet kontrolleras vattennivån, se fig. 8.



Fig. 8. Observationsrör i golv för kontroll av vattennivån.

Pumpgropen är utförd med vattentröskel där vattennivån även kan kontrolleras.



Fig. 9. Pumpgrop med vattentröskel.

Under de första åren var grundvattennivån så hög att någon infiltration inte erfordrades. I början av 1968 gjordes den första infiltrationen och har sedan dess skett enligt diagrammet i fig. 10.

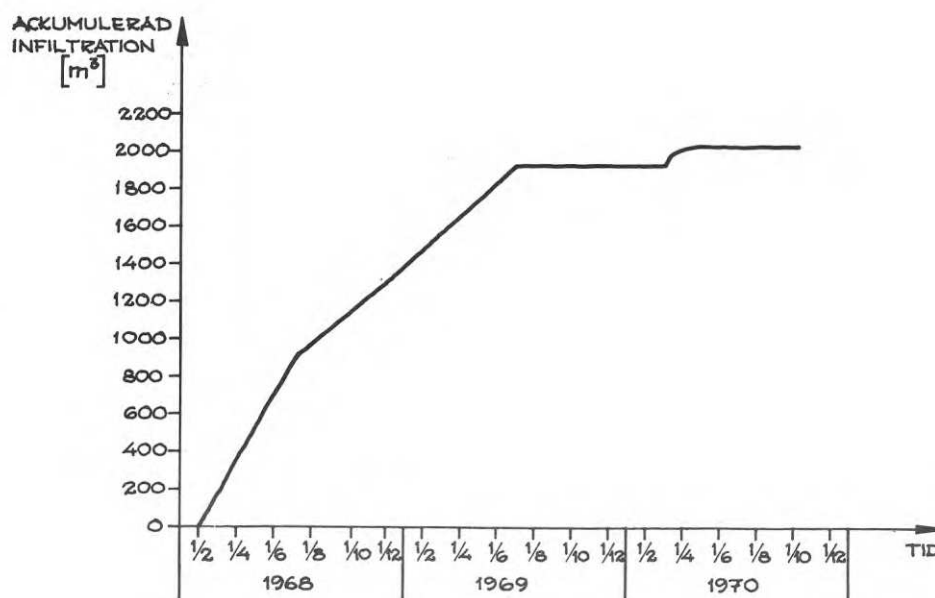


Fig. 10. Diagram över ackumulerad infiltration av vattenledningsvatten.

Under den första och även den intensivaste infiltrations-tiden omfattande 159 dygn förbrukades  $920 \text{ m}^3$  vatten motsvarande i medeltal  $5,8 \text{ m}^3/\text{dygn}$  eller  $2,1 \text{ l/dygn}$  och  $\text{m}^2$  byggnadsyta. Byggnadsytan är ca  $2770 \text{ m}^2$ . Räknat på en två-årsperiod från 1/2 1968 till 1/2 1970 blir förbrukningen i medeltal  $2,6 \text{ m}^3/\text{dygn}$  motsvarande  $0,9 \text{ l/dygn}$  och  $\text{m}^2$  byggnadsyta. Ett annat val av infiltrationsperiod ger enl. diagrammet något lägre värden. Vid följande grova uppskattning av de årliga driftskostnaderna har räknats med en medeldygnsförbrukning av  $2,5 \text{ m}^3$ . En antagen driftskostnad av  $1 \text{ kr/m}^3$  infiltrerad vattenmängd ger en årlig kostnad av ca 900 kr. Detta skall vägas mot kostnader för alternativa utföranden. Erfarenheter från Magistern nr 6 tyder på att det blir

dyrare att inte vidta några åtgärder alls. Frånsett en begränsad sprickbildning i källargolvet enl. fig. 11, vilken dock inte synes vara betingad av skiffersvällning, har infiltrationen haft avsedd effekt.

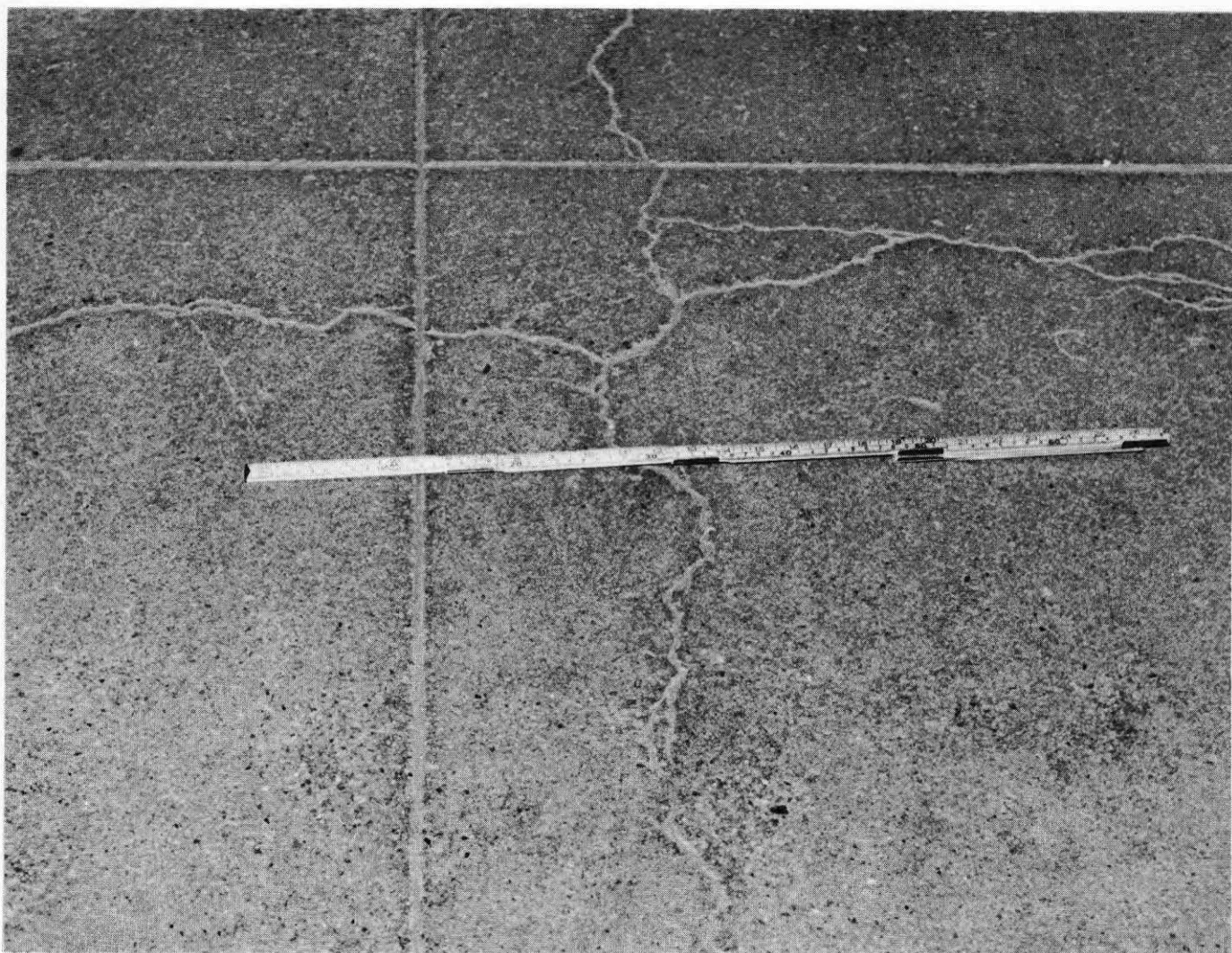


Fig. 11. Begränsad sprickbildning i källargolvet.



## 5.2.3 Tätning med lera.

Ett försök med tätning med lera har utförts vid samma objekt, redovisas som nr 9 på kartan i fig.7 kap.2, som försöket med injektering av vattenledningsvatten. Avsikten med försöket var att den packade leran mellan yttergrundmur och skifferberg skulle bidra till att hålla grundvattenytan uppe så att kringliggande bebyggelse inte skadades. Packningen utfördes med postglacial lera från jämtländska issjöavlagringar ca två mil från Östersund. Leran tippades i mellanrummet mellan yttergrundmur och skifferberg samt packades med tryckluftdriven stamp i lager om ca 50 cm. Detalj av yttergrundmuren är visad i fig. 6. Ett snitt genom byggnaden visas i fig. 12. För att undvika tjälskador har lerpackningen utförts endast upp till något under frostfri nivå.

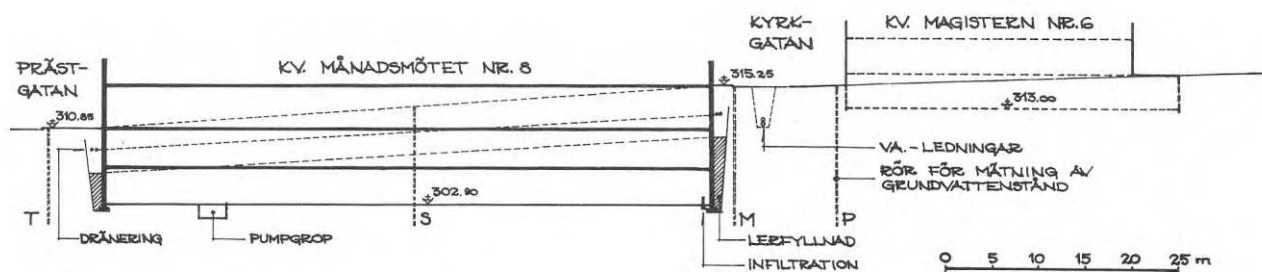


Fig. 12. Snitt genom Månadsmötet nr 8 visande bl.a. lerpackningen.

På grund av den ringa grundvattenföringen har lertätningen inte haft avsedd verkan. Som tidigare redovisats i kap. 4.4. har grundvattenytan sänkts under de senaste fem åren, dvs. sedan byggnaden i Månadsmötet nr 8 uppfördes. Ett annat sätt att visa grundvattensänknningen framgår av fig. 13. Bokstäverna i bildens underkant är beteckningar på borrhål för grundvattenobservation enligt kap. 4.4.

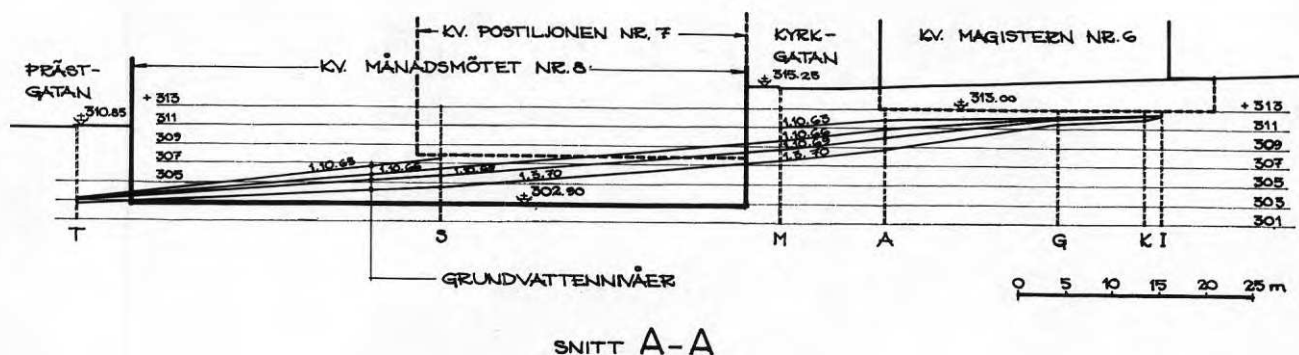


Fig. 13. Grundvattennivåer vid olika tidpunkter.

I fig. 13 visade nivåer hänför sig till den tid på året då grundvattenytan står som högst. Som jämförelse har inlagts värden för den 1.3.1970. Vid denna tid varje år är nivån vanligen lägst. Av figuren framgår att grundvattensänknningen uppgår till ca två meter i punkterna S, M och A under en tid av ca 5 år (se även kap. 4). Som tidigare konstaterats har utförandet inte haft avsedd effekt. I kombination med infiltration av skiffern över den packade lerans nivå kan metoden möjligen få praktisk betydelse.

#### 5.2.4 Tätning med sprutbetong.

Hissmofors kraftverk, se fig. 14, beläget vid Indalsälven ca 16 km väster om Östersund har utbyggts i flera etapper. Sedan lång tid tillbaka har man haft problem med skiffersvällningen. Se bl. a. fig. 17 i kap. 2.



Fig. 14. Nedströmsvy av Hissmofors kraftverk. Längst till vänster syns en del av det gamla kraftverket från början av 1900-talet.

Vid första utbyggnaden av maskinsalen 1939-42 vidtogs inga speciella åtgärder. Då hela kraftverket är grundlagt på skifferberg fick man snart stora svällningsskador. Vid en senare utbyggnad i slutet av 1950-talet försökte man med hjälp av sprutbetong täta den blottade bergytan för att hindra lufttillträde, se fig. 15.



Fig. 15. Skifferytan täckt med sprutbetong.

Lufttillträdet kunde dock inte hindras helt. Skiffern svälldes, sprutbetongen sprack och ännu mera luft fick tillträde, se fig. 16.



Fig. 16. Spricka i sprutbetong.

En timmerränna, som i den senare utbyggnaden hamnade inomhus, utsattes för svällning, se fig. 17.

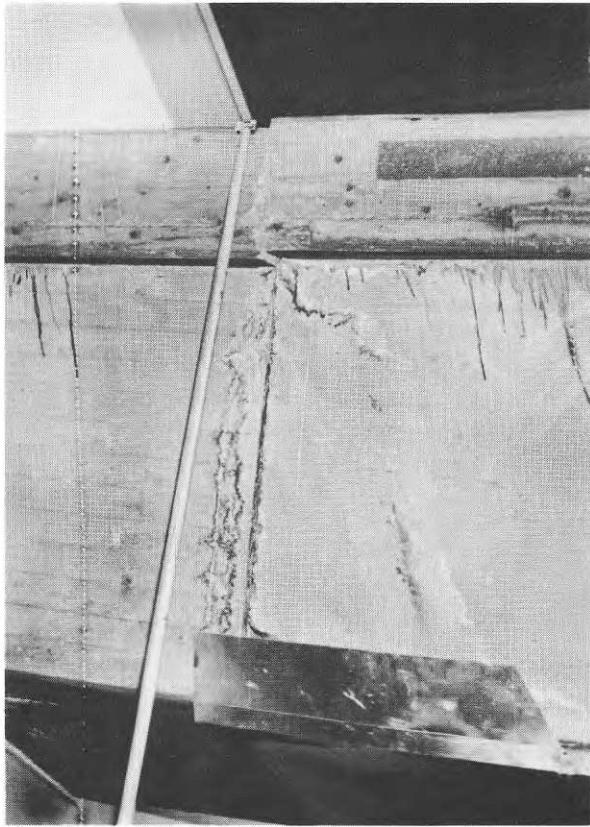


Fig. 17. Skadad timmerränna orsakad av ojämn svällning. Observera tändsticksasken på övre kanten av rännan.

Golvet i maskinsalen har också drabbats vilket framgår av fig. 18.

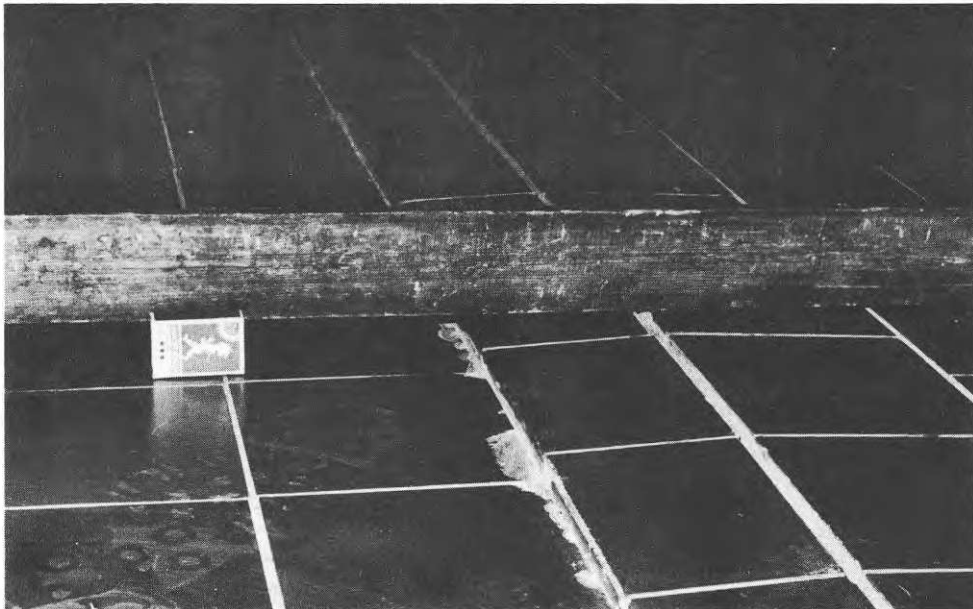


Fig. 18. Maskinsalsgolvet har blivit buktigt.

Väggarna i generatorgroparna är gjutna mot skifferytan. Över grundvattennivån har de lyfts sönder och inträngande vatten har frätt på betongen. Se fig. 19.

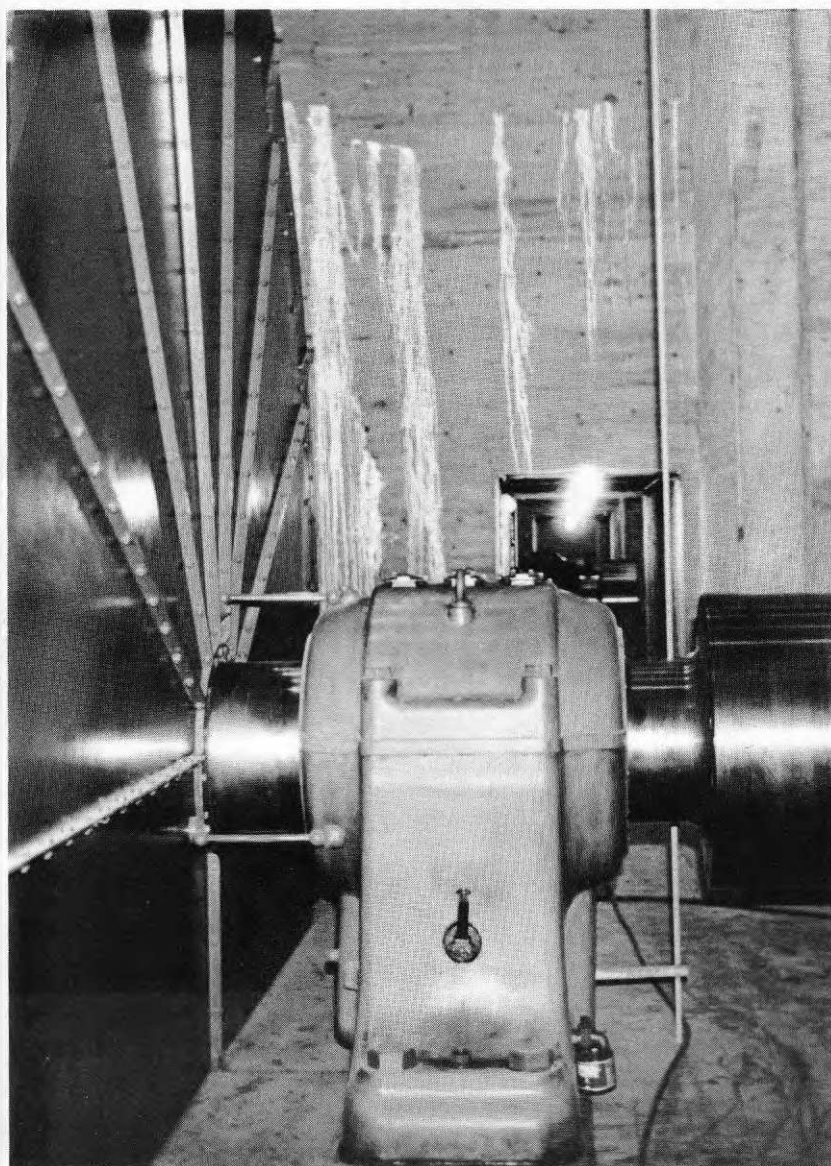


Fig. 19. Skadad vägg i generatorgrop.

Förutom de observationer som tidigare redovisats har en hel del mätningar gjorts. En speciell anordning för mätning av maskinsalsgolvet lyftning har monterats längs en ca 10 m hög spiraltrappa. Stödd på botten av generatorgropsplanet löper en metallstång upp till maskinsalsgolvet. Där är den monterad till en visare fastbultad i golvet, som vilar på skiffer. Se fig. 20. I fig. 21 visas detalj av mätanordningen.



Fig. 20. Spiraltrappa i maskinsal med övre delen av mätanordning.

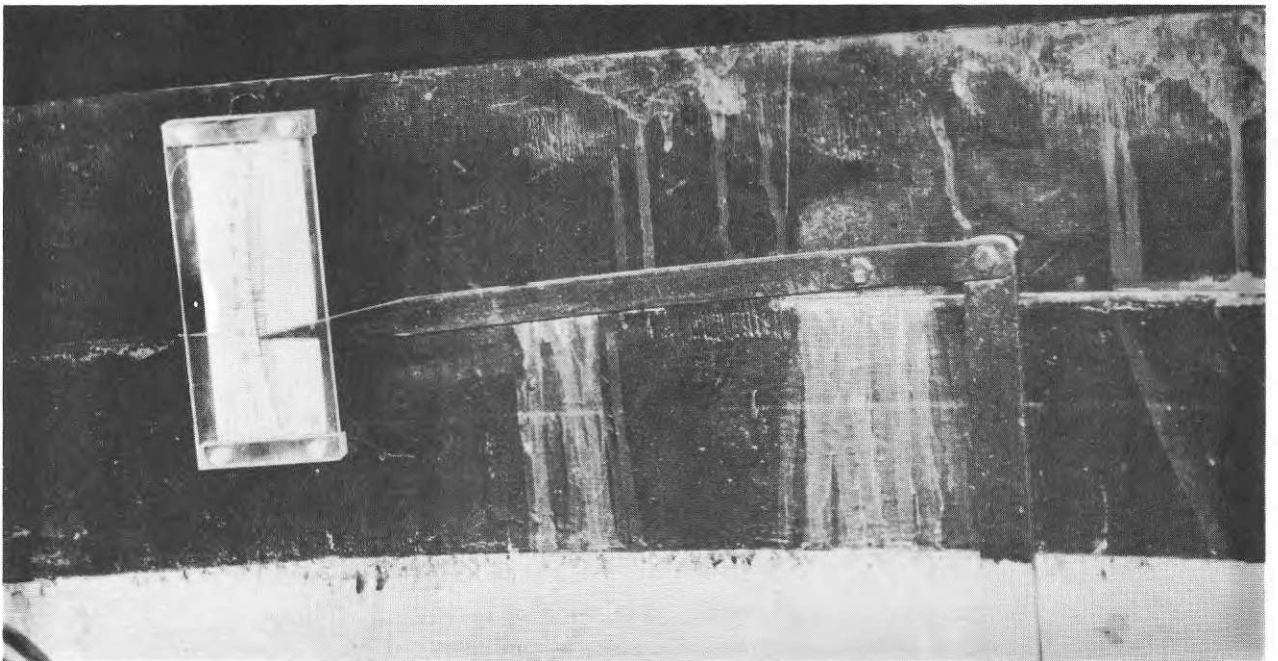


Fig. 21. Detalj av mätanordning.

Maskinsalsgolvet har även kontrollerats med hjälp av regelbundna avvägningar sedan 1965. Det ca 800 m<sup>2</sup> stora golvet har avvägs i 144 jämnt fördelade punkter.

I fig. 22 redovisas golvhöjningen fram till 1968, dvs. tre år.

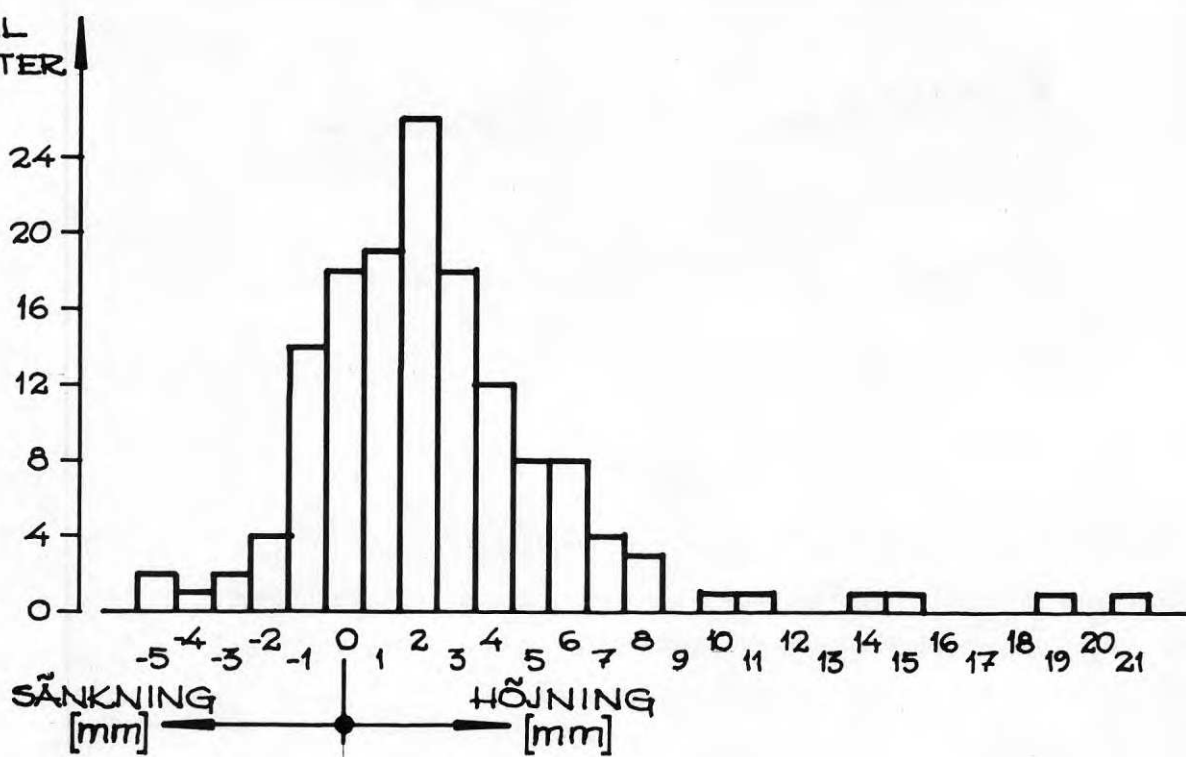


Fig. 22. Stapeldiagram över avvägningar av maskinsalsgolv 1965-1968.

Ur diagrammet fås medelvärdet 2,5 mm och medianen 2 mm. Resultaten visar att metoden att utestänga syre med sprutbetong inte haft avsedd verkan och kan därför inte rekommenderas.



### 5.2.5 Tätning med plastfolie.

I början av 1960-talet uppfördes en stor lagerbyggnad i Östersund punkt nr 14 i fig. 7, kap. 2. Fig. 23 visar byggnaden från nordväst.



Fig. 23. Vy av lagerbyggnad.

Byggnaden är till större delen en pelar- och balkkonstruktion i ett plan med betonggolv på delvis utfylld mark. Tyvärr var grunddammsmetoden inte utprövad vid denna tid. En grundvattenström i schakten dränerades därför bort och skiffern blottades. I avsikt att stänga luften ute och skydda det ca 6000 m<sup>2</sup> stora betonggolvet mot svällning lades en plastfolie in mellan grusbädden och den platsgjutna betongen. Kort tid efter färdigställandet uppträdde skador på golvet. Skadorna blev snart besvärande dels av att trucktrafiken virvlade upp betongdamm som slogs loss vid golvsprickorna av truckhjulen dels av att truckhjulen blev hårt slitna av det ojämna golvet men i någon mån även av att de höjdstaplande truckarnas stabilitet försämrades av golvlutningarna. Småningom uppträdde även skador på icke bärande väggar. I fig. 24 visas en knäckt och utbucklad stålprofil. I fig. 25 visas detalj av sådan skada.

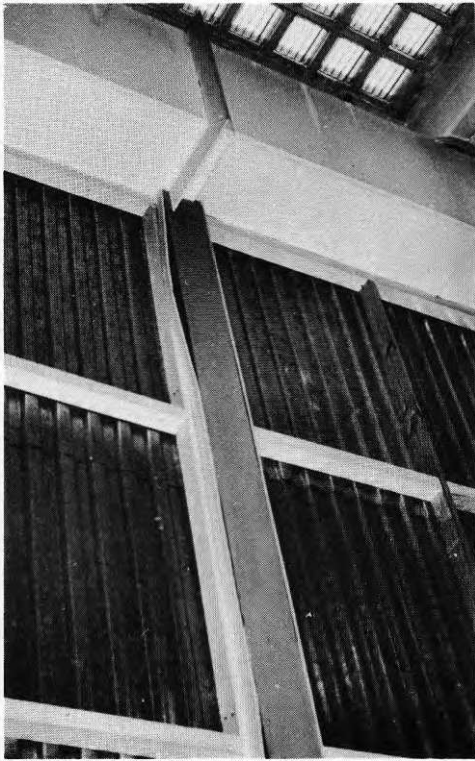


Fig. 24. Knäckt och utbucklad stålprofil i icke bärande vägg.



Fig. 25. Detalj av bucklad stålprofil.

Under ca ett och ett halvt års tid har golvrörelserna mätts dels med mätklockor dels med avvägning. Mätklockorna monterades på olika pelare i byggnaden på samma sätt som visats i kap. 4.5. Resultaten av klockmätningarna visar sänkning i en, oförändrat i en och höjning i fyra punkter, se fig. 26. Den oförändrade punkten låg på utfylld mark.

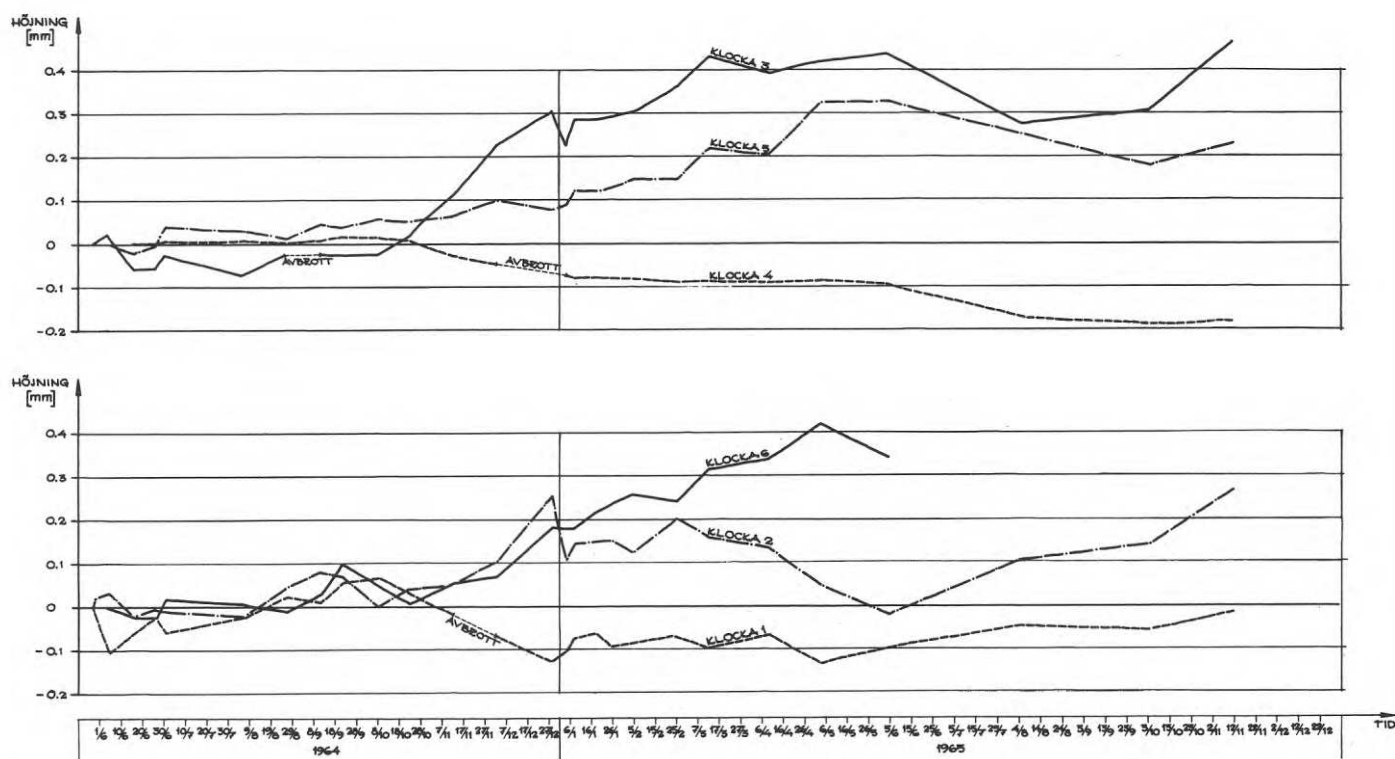


Fig. 26. Diagram över klockmätningar.

Avvägningarna gav liknande resultat. Golvet avvägdes i 34 punkter jämnt fördelade i lokalen. I fig. 27 är resultaten visade i stapeldiagram.

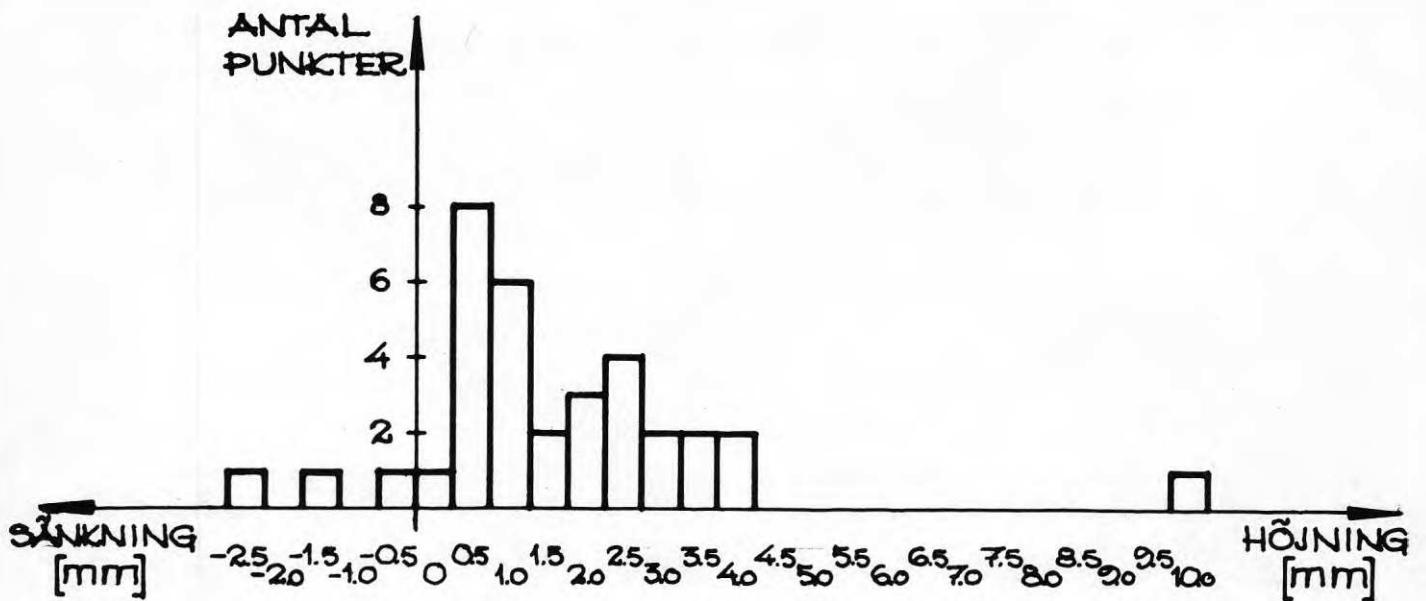


Fig. 27. Resultat av avvägningarna.

Av fig. 27 framgår att i endast tre punkter har skett en sänkning medan i 31 punkter skett en höjning. Medelvärde för de 34 punkterna är 1,63 mm med medianen 1,0 mm. Som slutsats kan konstateras att metoden inte haft avsedd verkan.

### 5.3 Källargolv på mineralull.

Som tidigare redovisats i kap. 4 gjordes en ombyggnad i kv. Magistern nr 6 under del av 1964. I ett utrymme utfördes på försök källargolvet platsgjutet på hård mineralullsskiva. Förhoppningen var att mineralullen skulle verka tryckfördelande vid skiffersvällningen så att skadorna reducerades. Mätklocka 1 i fig. 17, kap. 4 visar, efter avbrottet för ombyggnaden, att svällningen fortgått utan märkbart reducerad effekt. Registrerad sprickbildning, se fig. 12, kap. 2, ger samma resultat. Metoden kan inte rekommenderas.

### 5.4 Kylta utrymmen på skiffer.

Vid den i kap. 5.2.5 beskrivna lagerbyggnaden är en del disponerad för kyl- och frysutrymmen. I motsats till den övriga delen har inga skador av skiffersvällning observerats. Som tidigare redogjorts för är de kemiska processerna temperaturberoende. Exemplet från Hissmofors kraftverk med den söndertryckta varmluftskanalen, se fig. 17, kap. 2, visar detta. Det får hållas som sannolikt att nedkylningen av skiffern under kyl- och frysutrymmena varit avgörande för att förhindra skadlig skiffersvällning. Metoden kan ha sitt värde i andra liknande sammanhang.

### 5.5 Alternativ golvkonstruktion.

I vissa utrymmen där kraven på golvens jämnhet och planhet inte är så stora kan andra utföranden än hittills redovisade komma till pass. I fig. 28 visas ett tidigare skadat platsgjutet betonggolv som ersatts med betongplattor i sand. När svällningen blir besvärande är det enkelt att lyfta plattorna och lägga om golvet. Denna metod har även med framgång tillämpats i lokaler där tegel använts som ytmaterial.



Fig. 28. Betongplattor på sandbädd.



## S U P P L E M E N T



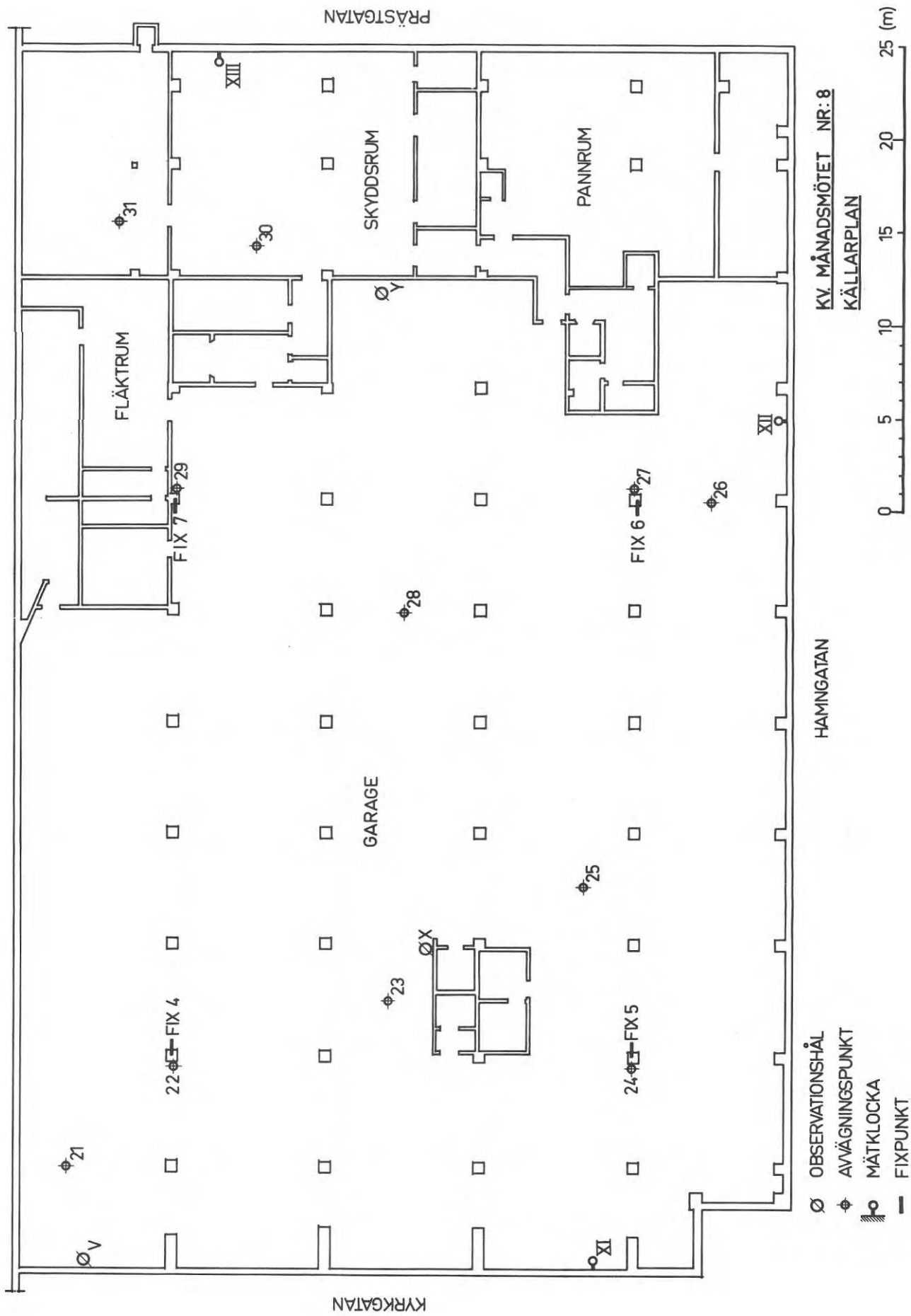


Fig. 1. Plan visande mätpunkter i kv. Månadsmötet nr 8.

## 6. RÖRELSEMÄTNINGAR VID INFILTRATION MED VATTENLEDNINGSVATTEN

### 6.1 Allmänt

I kap. 5.2.2 har som åtgärd mot skadlig svällning redovisats alternativet infiltration med vattenledningsvatten. Försök med infiltration har pågått sedan början av år 1967. Först i slutet av 1970 blev det dock möjligt att med mätningar följa upp denna åtgärds effekt. Mätningarna har utförts dels som precisionsavvägningar dels som mätningar med mätklockor. Golvrörelserna har registrerats med avvägningar i 11 punkter och med mätklockor i 3 punkter enligt fig. 1.

Mätningarna har pågått i nära ett års tid. Mätningarnas resultat och avsaknaden av skador tyder på att utförandet varit framgångsrikt. Mättiden kan mot bakgrund härav och med erfarenhet från övriga försök anses tillräcklig.

### 6.2 Mätning med avvägning.

De 11 punkterna har avvägts med ca en månads intervall under försöksperioden, se tabell 2. Avvägningarna visar att ingen nämnvärd rörelse skett.

### 6.3 Mätning med mätklockor.

Resultatet av mätningarna framgår av diagrammet i fig. 3, där klockorna XII och XIII uppvisar små rörelser. Av diagrammet synes dessa främst vara av årstidskaraktär, vilket styrks av de gjorda avvägningarna, som visar att inga bestående rörelser ägt rum.

### 6.4 Slutsatser.

Bestående rörelser har inte registrerats vid avvägningar och endast smärre rörelser av årstidskaraktär vid klockmätningar. Utförandet av grunddamm med infiltration av vattenledningsvatten kan därav bedömas vara en effektiv åtgärd mot skadlig skiffersvällning.

Datum	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
4/11-70	2,892	2,817	2,873	2,829	2,834	2,867	2,829	2,893	2,915	2,847	2,898
18/12-70	2,890	2,817	2,873	2,827	2,834	2,865	2,828	2,889	2,914	2,845	2,896
8/2 -71	2,890	2,816	2,872	2,827	2,833	2,863	2,827	2,889	2,913	2,844	2,896
11/3 -71	2,889	2,816	2,872	2,826	2,832	2,864	2,827	2,889	2,913	2,844	2,896
6/4 -71	2,890	2,816	2,872	2,827	2,833	2,864	2,828	2,889	2,913	2,845	2,896
6/5 -71	2,891	2,817	2,873	2,829	2,835	2,867	2,829	2,891	2,916	2,847	2,899
7/6 -71	2,891	2,817	2,873	2,829	2,835	2,867	2,829	2,892	2,915	2,845	2,897
6/7 -71	2,891	2,817	2,874	2,829	2,835	2,867	2,829	2,891	2,915	2,845	2,897
13/8-71	2,891	2,817	2,873	2,828	2,834	2,866	2,829	2,890	2,915	2,847	2,899

Tabell 2. Avvägning av golvhöjder i kv. Månadsmötet nr 8.

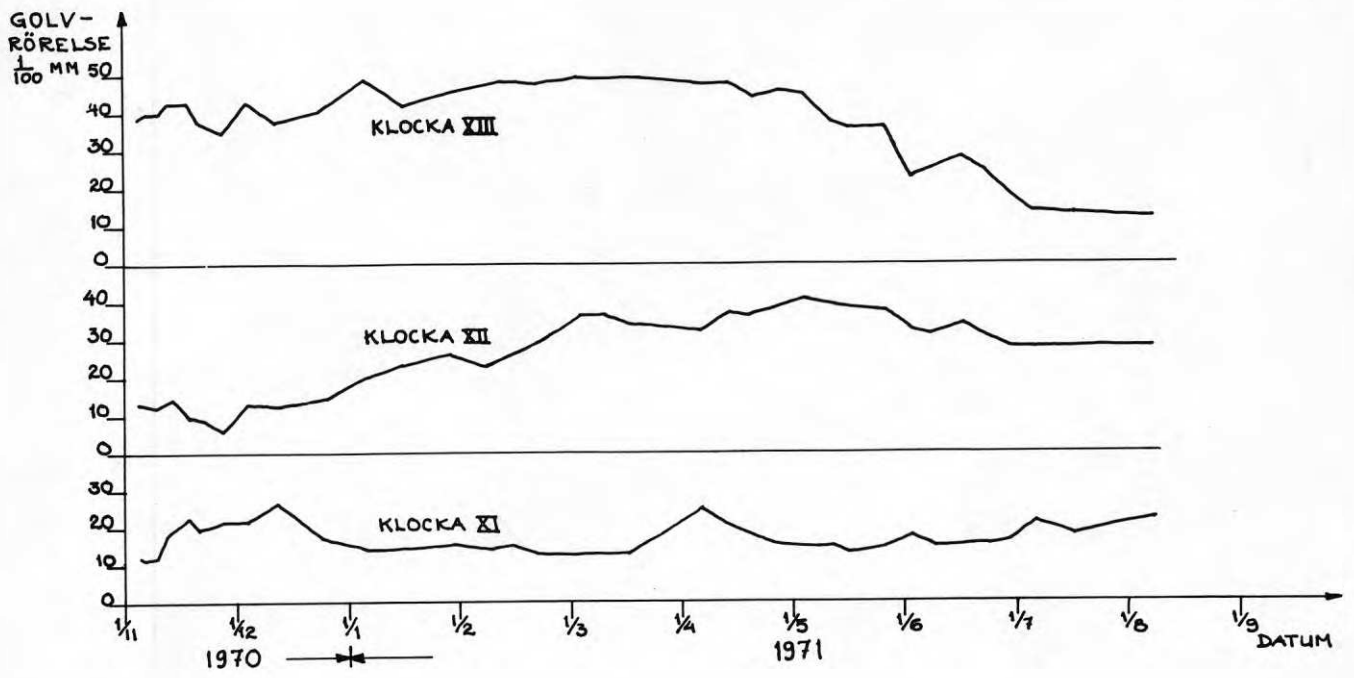


Fig. 3. Diagram över klockmätningarna i punkterna XI - XIII.

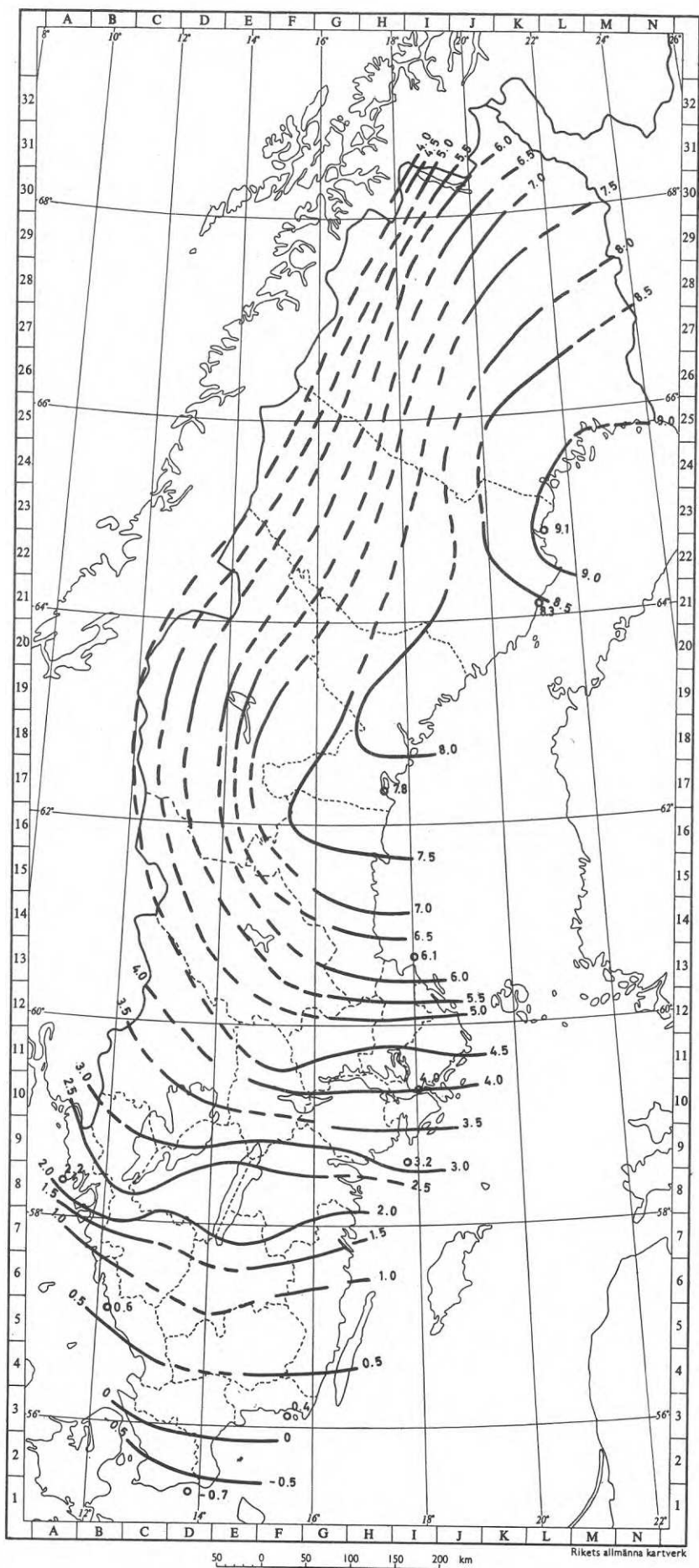


Fig.1. Landhöjningskarta över Sverige, 1900 - 1970.  
Medeltal i mm per år.

## 7. LANDHÖJNINGEN I SKIFFEROMRÅDET

### 7.1 Allmänt

Vid skifferns omvandling sker en volymökning. Som tidigare visats har detta i vissa fall förorsakat skador på byggnader. Däremot har ledningar i mark, såsom vatten- och avloppsledning- ar, veterligen inte påverkats. Förklaringen härtill kan vara att vittringsprodukterna, främst gips, urlakats och förts bort.

En annan tänkbar effekt av skifferns omvandling är att hela landskapet höjer sig inom skifferområdet. Som utgångspunkt för att studera detta har valts resultaten från de två stora precisionsavvägningarna i landet. Den första av dessa genomfördes 1886-1905 och den andra 1951-1967. Efter beräkningar har Rikets Allmänna Kartverk (RAK) fastställt benämningarna "Höjdsystem 1900" och "Höjdsystem 1970". Ur dess avvägningar har RAK gjort beräkningar över landhöjningen. Med ledning härav har nivåkurvor upprättats som sammanbinder punkter med lika stor landhöjning, s.k. landhöjningskarta, se fig.1. På grund av att höjdnätet var mycket glest i "Höjdsystem 1900" är landhöjningsangivelsen i stora områden approximativ. På kartan är detta markerat med streckade linjer.

### 7.2 Profiler över landhöjningen.

Det är inte möjligt att av landhöjningskartan bedöma skifferns inverkan. Med ledning av utgångsmaterialet, vilket välvilligt ställts till förfogande av RAK, har därför upprättats profil av landhöjningen genom Östersund. Denna redovisas i fig.2. Profilen sträcker sig från kusten i Sundsvallstrakten till Storlien och följer i stort järnvägssträckningen. Som jämförelse har inlagts motsvarande profil genom Luleå upp till Riksgränsen.

I profilen har Östersundsskifferns läge markerats. Som framgår bryts kurvan just vid områdets gränspunkter. En förstoring av området visas i fig.3. Här framgår tydligare sambandet mellan skifferns läge och landhöjningens variation.

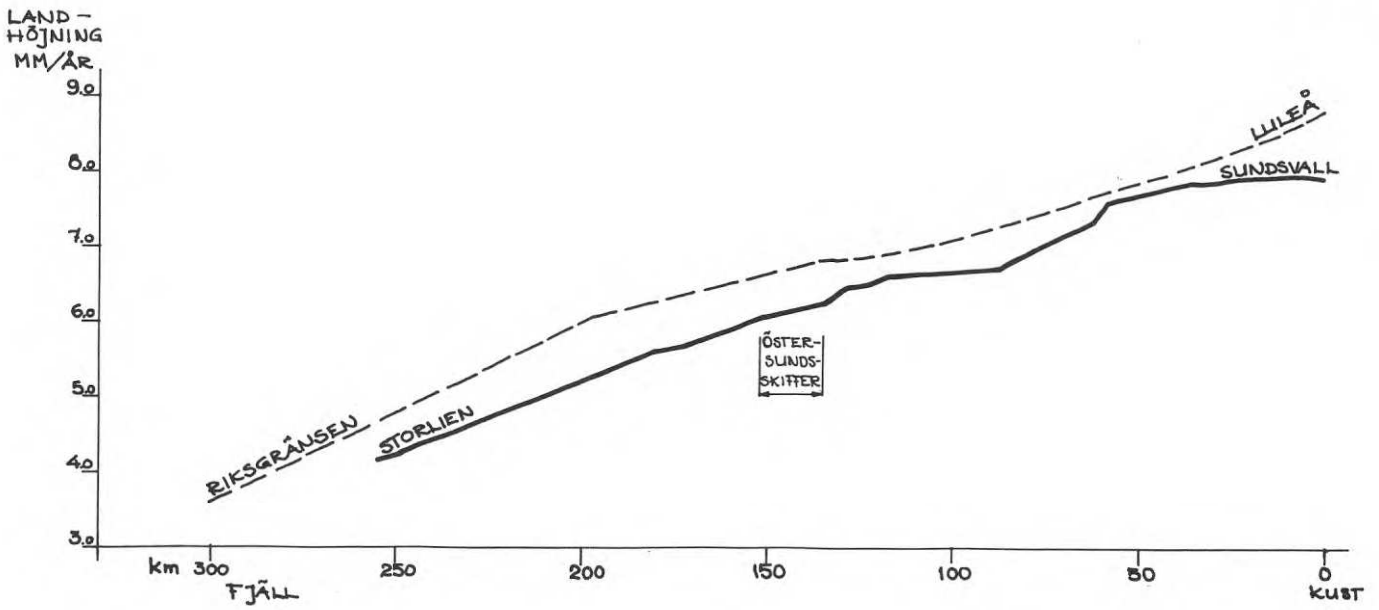


Fig. 2. Landhöjningsprofil Storlien - Östersund.

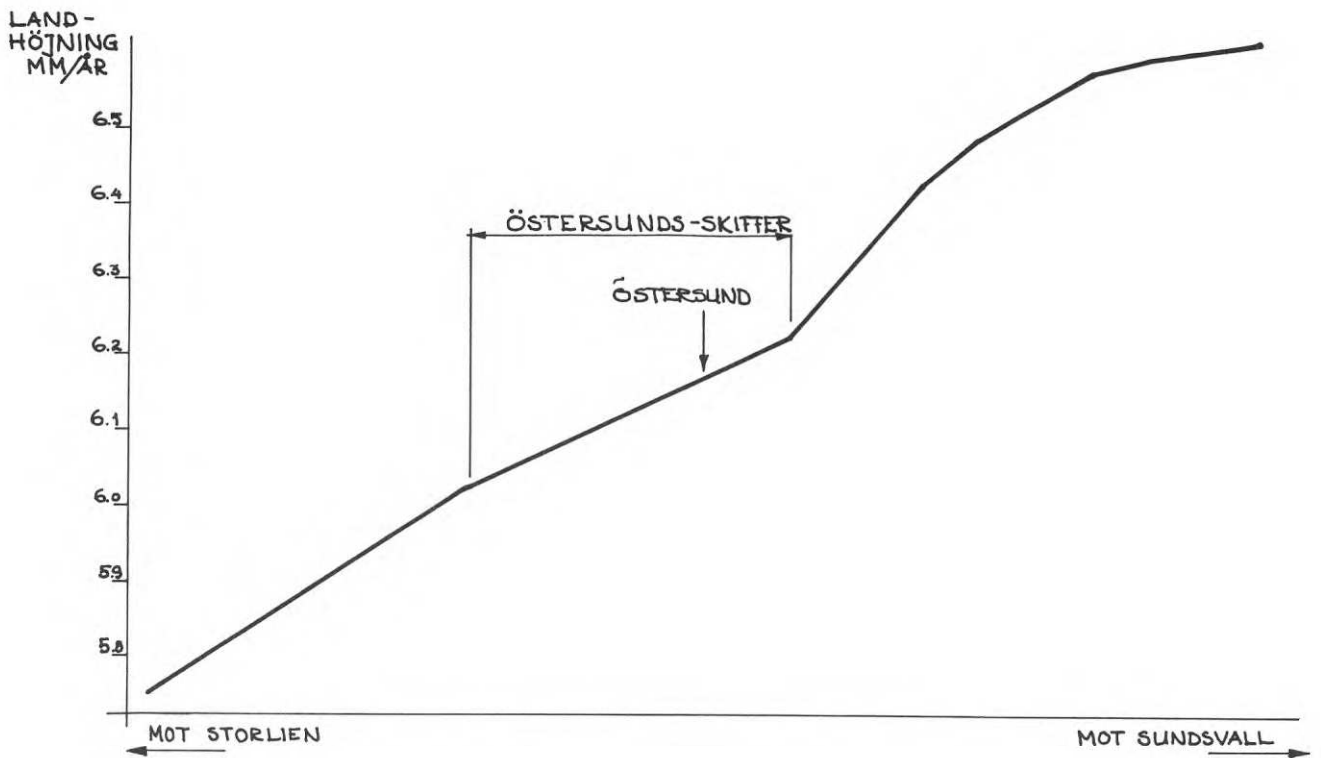


Fig. 3. Detalj av profil i fig. 2.

### 7.3 Slutsatser

Vad ovan redovisats kan inte läggas till grund för påståendet att skiffersvällningen orsakar variationen i landhöjning inom området. Det kan dock inte anses uteslutet att skiffersvällningen påverkar landhöjningens förlopp. Mätningarna är emellertid för osäkra och variationerna för små för att man på detta stadium skall kunna dra säkra slutsatser. Den precisionsavvägning som RAK planerar skall påbörjas omkring 1980 kan måhända ge entydigare besked.



Litteratur

1. Sveriges geologiska undersökning Ser Aa nr 120
2. " " " Ser Aa nr 121
3. " " " Ser Aa nr 125
4. " " " Ser Aa nr 172
5. " " " Ser Ba nr 16
6. " " " Ser Ca nr 18
7. " " " Ser C nr 437
8. " " " Ser C nr 459
9. " " " Ser C nr 463
10. Jangdal, Rapport från Byggforskningen 9/65
11. Magnusson, Lundqvist, Regnell, Sveriges Geologi 1963
12. Norges Geotekniska Institut 22/57
13. Bernatzik, Baugrund und Physik 1947
14. Dapples, Basic Geology 1959
15. Eklund, Kumlabygden 1961
16. Rilem-symposiet, 1960
17. Handboken Bygg, 1967
18. Roosaar-Vessby, Nordisk betong 1962:3, sid 247 - 260
19. Hagerman- Roosaar, Betong 1955:2, sid 151 - 161
20. Baver, Soil Physics 1966

**R35:1971**

**Denna rapport avser anslag nr C 122:3 från Statens råd för byggnadsforskning till Curt-Erik Jangdal, Luleå**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm**

**Grupp: konstruktion**

**Pris: 21 kronor**