



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

RAPPORT
REPORT No 7

**Förebyggande av sättningar
i ledningsgravar —
en förstudie**

ULF BERGDAHL
ROLF FOGELSTRÖM
KARL-GUSTAF LARSSON
PER LILJEKVIST

LINKÖPING 1979



**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE**

**RAPPORT
REPORT No 7**

**Förebyggande av sättningar
i ledningsgravar —
en förstudie**

**ULF BERGDAHL
ROLF FOGELSTRÖM
KARL-GUSTAF LARSSON
PER LILJEKVIST**

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 760596-3
från Statens råd för byggnadsforskning.

LINKÖPING 1979

INNEHÅLLSFÖRTECKNING		sid
SUMMARY		7
SAMMANFATTNING		11
1	INLEDNING	13
1.1	Bakgrund	13
1.2	Undersökningens syfte	14
2	NUVARANDE FÖRESKRIFTER OCH UTFÖRANDE	14
2.1	Föreskrifter, Mark AMA 72	14
2.1.1	"C 2 Fyllning för ledning. Ledningsbädd	14
2.1.2	"C 2.2 Ledningsbädd	15
2.1.3	"C 2.31 Kringfyllning för rörledning	16
2.1.4	"C 2.4 Resterande fyllning	19
2.1.5	Kommentarer	19
2.2	Normalutförande i Linköping	21
2.2.1	Ledningsbädd och kringfyllning	21
2.2.2	Resterande fyllning	21
3	EXEMPEL PÅ INTRÄFFADE SÄTTNINGAR	23
3.1	Allmänt	23
3.2	Studium av uppmätta sättningar i ledningsgravar	23
3.2.1	Vårgård, Rönnhagsvägen	23
3.2.2	Sjögestad, Fältgatan	27
3.2.3	Sturefors, Porsvägen	32
3.3	Kostnader orsakade av sättningar i ledningsgravar	37
4	UPPSCHAKTNING OCH STUDIUM AV FYLLNADSMASSOR I TVÅ TIDIGARE UTFÖRDA LEDNINGSGRAVAR	39
4.1	Allmänt	39
4.2	Objekt Vårgård	40
4.2.1	Fältarbete	40
4.2.2	Undersökningsresultat	40
4.3	Objekt Sjöggestad	43
4.3.1	Fältarbete	43
4.3.2	Undersökningsresultat	43
5	UPPFÖLJNING AV SCHAKT- OCH ÅTERFYLLNING SAMT SÄTTNINGSFÖRLOPP PÅ DEL AV LEDNINGSGRAV	49
5.1	Allmänt	49

5.2	Objektbeskrivning och utförande	49
5.3	Fältarbete	53
5.3.1	Åtgärder under schaktning	57
5.3.2	Åtgärder under återfyllning	57
5.3.3	Åtgärder efter återfyllning	59
5.4	Undersökningens resultat	62
5.4.1	Resultat av inmätningar	62
5.4.2	Laboratorieundersökningar	66
5.4.3	Sättningsobservationer	67
6	ANALYS AV UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR	74
6.1	Sättningarnas storlek	74
6.2	Sättningarnas fördelning i sidled	75
6.3	Sammantryckningens fördelning i djupled	76
6.4	Sättningarnas tidsförlopp	76
7	FÖREBYGGANDE ÅTGÄRDER	77
7.1	Allmänt	77
7.2	Åtgärder avseende ändrade projekteringsregler	78
7.2.1	Packning	78
7.2.2	Stabilisering med kalk	79
7.3	Åtgärder avseende ändrade projekteringsregler	80
7.3.1	Planskedet	80
7.3.2	Detaljskedet	81
8	FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR	81
8.1	Studium av uppschaktad leras och silts "packbarhet"	81
8.2	Utveckling av packningsredskap för ledningsgravar	82
8.3	Utredning om erforderlig fyllningstjocklek över ledningar för olika packningsredskap	82
8.4	Effekten av kemisk stabilisering - kalkinblandning	82
8.5	Fullskaleförsök	82
8.6	Studium av olika planlösningar och förinvesteringar	83
8.7	Geotekniska undersökningar	83
9	REFERENSER	85

HOW TO LIMIT THE SETTLEMENTS IN FILLS ABOVE
PIPE LINE SYSTEMS - A PRELIMINARY SURVEY

Summary

Settlements in the fills above pipe line systems in new building areas have caused great costs of repair and are uncomfortable for the inhabitants. Therefore the town of Linköping (110.000 inhabitants) and The Associated General Contractors and House Builders of Sweden have started a survey with the purpose to investigate the possibilities to limit these settlements. This preliminary investigation has been sponsored by the Swedish Council for Building Research, the Swedish Geotechnical Institute and the town of Linköping.

The investigation has shown that settlements as large as 250 mm occur over pipe line trenches of 2-5 m depth in clay (dry crust) and silt even when some compaction of the fill is performed. It is also found that the normally used regulations (MarkAMA 72) for water supply and sewerage contracts often are impossible to follow in this type of soils because it is too expensive to replace the clay fill with sand or gravel fill.

Four different projects in Linköping have been investigated. These are located in Sjöggestad, Vårgård, Sturefors and Ekholmen. At Sjöggestad and Vårgård test pits have been made in previously filled out trenches while at Sturefors only the settlements and the cost of repairs have been studied. At Ekholmen time-settlement curves have been worked out for a number of points in the fill.

The settlement measurements show, as can be expected, that the greatest settlement occur at the greatest trench depths. Just outside the trench the settlements are only 10-20 mm. The compression of the fill above the pipe line seems to be equal (5-15% relative compression) in the different layers of the fill. Thus there is very little friction between the fill and

the natural soil. The determination of the density of the soil in the test pits shows that after some time the density of the fill is about equal to the density of the naturally deposited soil.

The time-settlement curves show that an important part of the settlements develops in a short time (2-3 weeks) after the filling of the trenches. However, the settlements during thawing periods are also important.

The costs of repair (1975-1977) for the investigated projects at Sjögestad, Vårgård and Sturefors were between 90 and 165 Sw Cr per m of trench or between 16 and 25 Sw Cr per sqm of the street. This means that in the town of Linköping 0.5-1.0 million Sw Cr a year are used for repairing the streets underlain by pipe line systems. The corresponding costs for all Sweden might be 100-150 million Sw Cr.

As most of the settlements occur shortly after the filling the cost of repair will be limited if the pipe line system is performed, say half a year before the street pavement. However, the interest costs are in that case half the above mentioned total cost of repair.

There are a number of methods which can be used to limit the settlements in streets caused by compaction of the fill of dry crust clay and silt above pipe line systems. In order to compare these methods it is suggested that further investigations is carried out on the following points:

- A laboratory survey of the compaction characteristics of dry crust clay and silt and the effect of water (hydraulic fill) or lime stabilisation of the soil aggregates.
- Development of kneading tools for compaction of these types of soil.
- Tests on the necessary height of fill above different types of pipes before compaction can be made.

- Full scale tests with different types of compaction and stabilisation.

- Technical and economical study of the possibilities to change the plans for new building areas so that the pipe line systems will be located outside the streets.

FÖREBYGGANDE AV SÄTTNINGAR I LEDNINGSGRAVAR - EN FÖRSTUDIE SAMMANFATTNING

På initiativ av Svenska Byggnadsentreprenörföreningen, Vägforskningsgruppen, har en arbetsgrupp i Linköping gjort en förstudie avseende de sättningar som ofta uppstår vid lednings- och gatuarbeten inom exploateringsområden.

Undersökningen har visat att sättningar på upp till 250 mm kan inträffa över ledningsgravar på 2-5 m djup trots att viss packning av fyllningen i gravarna utförts. Vidare har framkommit att de föreskrifter, som finns i t ex Mark AMA 72 ej kan följas när det gäller packning av torrskorpelera och silt.

Fyra olika objekt i Linköping har studerats, nämligen ledningsgravar vid Sjögestad, Vårgård, Sturefors och Ekholmen. Vid de två förstnämnda platserna har man schaktat upp två tidigare utförda och återfyllda ledningsgravar medan man vid Ekholmen studerat sättningarnas fördelning i sidled och djupled med tiden. Vid Sturefors har sättningarna uppmätts och det ekonomiska resultatet av justeringsarbetena följts.

Mätningarna visar att sättningarna är störst där schaktdjupet är som störst samt att man vid sidan av ledningsgraven har sättningar på endast några cm. Någon upphängning på schaktväggarna syns ej ha skett. I djupled är sammantryckningen i huvudsak lika i de uppmätta skikten. Någon effekt av ökad packning nära markytan till följd av trafik eller av ökat överlagringstryck mot djupet har således ej kunnat spåras. Densiteten i upptagna prover från Sjögestad och Vårgård visar visserligen på något högre värden närmast markytan än på större djup. Detta bedöms dock bero på att man vid återfyllning lagt den fastaste jorden överst för att få en körbar terrassyta. Densitetsbestämningarna visar vidare att jorden, sedan homogenisering skett, i huvudsak återfått sin naturliga densitet.

Studiet av sättningarnas tidsförlopp i Ekholmen visar att en stor del av sättningarna inträffar kort

tid (2 å 3 veckor) efter återfyllning men att sättningarna i samband med tjällossning och snösmältning också är av betydelse.

Vid ett studium av kostnaderna för reparation (1975-1977) av de tre objekten vid Sjögestad, Vårgård och Sturefors har man funnit att dessa uppgår till mellan 90 och 165 kr per m ledningsgrav eller till mellan 16 och 25 kr per m² gata. Detta innebär att man i Linköpings kommun lägger ner 0,5-1,0 milj kronor årligen för reparation av gator efter nybyggnad eller reparation av ledningar. För hela landet bedöms motsvarande kostnad vara 100-150 milj. Den närmast till hands liggande åtgärden är att lägga ledningarna tidigare så att sättningarna kan utbildas innan beläggning påförs. Extrakostnaderna för läggning av ledningar, t ex ett halvår före beläggning och byggstart, beräknas uppgå till ungefär halva den ovan angivna summan. Reparationskostnaderna för kvarvarande sättningar bedöms också bli betydligt mindre.

För att minska sättningarna föreslås en rad åtgärder och för att värdera dessa sinsemellan föreslås vissa fortsatta undersökningar enligt följande:

- Studium på laboratorium av lera och silts packbarhet och deformationsegenskaper efter packning samt hur dessa egenskaper kan förändras genom vattenbegjutning eller kalkinblandning.
- Utveckling av knådande redskap för packning i ledningsgravar.
- Studium av erforderlig fyllningstjocklek över ledning före packning.
- Fullskaleförsök med jämförande prov och mätningar.
- Teknisk-ekonomisk studie av olika planlösningar och förinvesteringar som kan användas för att förlänga tiden mellan återfyllning i en ledningsgrav och första beläggning.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Vid byggande av vägar och gator på bl a ler- och siltjordar uppkommer ofta förhållandevis stora sättningar över ledningsgravar där återfyllning utförs med uppgrävda jordmassor, ett förfarande som normalt tillämpas av kostnadsskäl. Dessa sättningar kompenseras senare genom utläggning av extra asfaltmassor över ledningsgraven, vilket medför extra kostnader för gatubyggandet. I extrema fall blir sättningarna så stora, att beläggningen måste rivs upp och bärlagret kompletteras innan ny beläggning kan påföras.

Under 1960- och 70-talen har problemet med dessa sättningar accentuerats dels till följd av ökade krav på gatumiljön från de arbetande och inflyttande i exploateringsområden, dels till följd av trafikbelastning, som är en följd av den moderna byggnadstekniken. En bidragande orsak är säkert också att gatubyggandet allt oftare måste utföras omedelbart efter ledningsbyggandet, vilket i sin tur beror på att man i många kommuner haft svårigheter att i god tid få fram fastställda planer för nya områden. En viss liggzeit för återfyllningen har tidigare ofta medfört att vissa sättningar i återfyllningen inträffat redan före gatubyggandet varför sättningsproblemen då varit mindre.

De uppkommande sättningarna torde huvudsakligen bero på en otillräcklig packning av kringfyllning och resterande fyllning i schaktgraven, men kan även bero på t ex erosion av vatten, som strömmar i schaktgraven eller utdränering och uttorkning genom frysning och tining av jorden. Ett ökat packningsarbete skulle därför minska uppkommande sättningsskador men förekommande utrustningar och metoder för återfyllning är mindre lämpade för packning av silt och lerjordar i schaktgravar.

1.2 Undersökningens syfte

Syftet med den nu genomförda förstudien har varit att få fram ett underlag för bedömning av möjligheterna att finna åtgärder som kan förhindra uppkomsten av sättningar i ledningsgravar eller åtminstone minska dessa samt undersöka de ekonomiska förutsättningarna för sådana åtgärder.

För att uppnå detta syfte har följande frågor studerats:

- a. Skadornas omfattning och ekonomiska betydelse.
- b. Orsaker till sättningarna.
- c. Olika sätt att förbättra återfyllningen i ledningsgravar.

2 NUVARANDE FÖRESKRIFTER OCH UTFÖRANDE

2.1 Föreskrifter, Mark AMA 72

Huvuddelen av de förfrågningsunderlag, som i dag upprättas för gatu- och ledningsarbeten, är helt eller delvis baserade på föreskrifterna i Mark AMA 72. Vissa lokala anvisningar finns dock, t ex Stockholms kommun VA-verket: Beskrivning för anläggande av markförlagda VA-ledningar (koncept).

Mark AMA 72 innehåller detaljerade föreskrifter för schaktens utformning samt för utförande av kringfyllning, resterande fyllning, packning m m. Det kan här vara lämpligt att göra några citat ur dessa anvisningar:

2.1.1 "C 2 Fyllning för ledning. Ledningsbädd

Till fyllning används i första hand uppschaktat material. Om detta inte uppfyller under respektive rubriker nedan angivna fordringar, anskaffas andra godtagbara massor.

Fyllning får inte innehålla material som är olämpligt från bärighets- och sättningssynpunkt, såsom matjord, stubbar, rötter och virke. Fruset jordmaterial får inte användas under hårdgjord yta.

Jordfyllning skall ha homogen struktur. Lokal anhopning av sten får inte förekomma."

Enligt föreskrifterna kan silt, halvfast och fast lera användas som resterande fyllning. Det är väl dock tveksamt om t ex torrskorpelera har en "homogen struktur" och om den inte vid packning uppför sig som "fruset jordmaterial" eller "lokal anhopning av sten". Trots detta måste man av ekonomiska skäl använda den uppschaktade jorden som resterande fyllning.

2.1.2 "C 2.2 Ledningsbädd

C 2.21 Ledningsbädd för rörledning

Bädd utförs med välgraderat, i huvudsak stenfritt material ur grupp 2 eller 3 a enligt tabell C/1. Största stenstorlek får uppgå till högst 50 mm. För rörledning av plast utförs bädden av stenfritt material ur grupp 2, tabell C/1." (Tabell 1)

Grupp	Fyllningsmaterial	Tjälfärlighetsgrupp	Motsvarar materialgrupp enligt BYA	Anmärkning
1	Sprängsten Block, sten	—	—	Finkornshalten skall vara mindre än 16%
2	Grus, sand. Grusig eller sandig morän. Krossmaterial med motsvarande kornfördelning	I	A+B	
3a	Grusig-, sandig-, eller normalmorän. Krossmaterial med motsvarande kornfördelning	II	C	
3b	Silt, halvfast till mycket fast lera. Övriga moräner	II+III	D	
4	Lös och mycket lös lera. Torv, dy och gyttja	—	E	
5	Lätta fyllningsmaterial	—	—	
6	Byggnadsavfall m m	—	—	

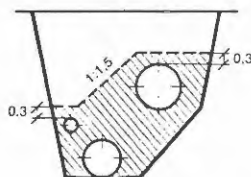
Tabell 1. Indelning av fyllningsmaterial enligt Mark AMA 72, Tabell C/1.
Classification of filling material according to Mark AMA 72, Table C/1.

"Ledningsbädd packas på samma sätt som kringfyllning närmast ovan bädden. Bädd på lera eller på flytbenäget material packas dock inte."

Vid anläggning av ledningar i lera, som för närvarande är det normala för nyexploaterade områden, blir det således nödvändigt att utföra ledningsbädd av friktionsjord, som körs till platsen från sidotag, samt normalt lämna den opackad.

2.1.3 "C 2.31 Kringfyllning för rörledning

Kringfyllning utförs inom ledningsgravs hela bredd och upp till 0,3 m över översta lednings hjässa. Vid ledningsgrav med två eller flera ledningar får dock den översta ledningens kringfyllning begränsas enligt fig C 2/1." (Fig 1)



Figur 1. Tillåten begränsning av kringfyllning i ledningsgrav med två eller flera ledningar enligt Mark AMA 72, Fig C2/1.

Allowed limitation of the lower part of the fill in a pipe line trench with two or more pipes according to Mark AMA 72, Fig C2/1.

"Material

Kringfyllning utförs med material ur grupp 2, 3a eller 3b enligt Tabell C/1. Frusen jord får inte användas.

Materialet skall i huvudsak vara stenfritt. Enstaka stenar med största stenstorlek 50 mm får dock förekomma.

För rörledning av plast gäller att kringfyllningen skall utföras med stenfritt material ur grupp 2, tabell C/1.

Fyllningsmaterial, som tillhör tjälfarlighetsgrupp III får endast användas då kringfyllning inte packas."

Jfr Tabell 1.

Dessa föreskrifter innebär således att uppschaktade massor av torrskorpelera, som normalt anses tillhöra tjälfarlighetsklass II, kan användas som kringfyllning till ledningar, dock ej ledningar av plast. Normalt används i exploateringsområden åtminstone vattenledning av plast varför torrskorpeleran därför skulle uteslutas som kringfyllnad.

"Packning

Under hårdgjord yta och under byggnad packas kringfyllningen enligt klass 2, tabell C/2." (Tabell 2). Packning kring plastledning utförs på speciellt sätt.

Klass	Utförande
1	Fyllning och packning i lager till föreskriven packningsgrad.
2	Fyllning och packning i lager enligt tab C/3 eller enligt särskilt angivna föreskrifter
3	Traktorutbredning av sprängsten
4	Fyllning utan krav på packning

Tab C/3 anger riktvärden för största lagertjocklek efter packning och minsta antal överfarter per lager vid olika packningsmaskiner. Varje lager skall efter justering till erforderlig jämnhet packas med minst det antal överfarter tabellen anger.

Tabell 2. Fyllnings- och packningsklasser enligt Mark AMA 72, Tabell C/2.

The classes of filling and compaction according to Mark AMA 72, Table C/2.

Den i Tabell 3 angivna packningen skall enligt föreskrifterna motsvara en packningsgrad på 90-95% enligt tung laboratoriestampning eller laboratorievibrering, vilket dock förutsätter att jordens vattenkvot ligger inom för packning lämpligt register.

Packningsmaskin	Minsta antal överfarer	Material enligt tab C/1, största lagertjocklek (m)			
		1 Sprängsten Block, sten	2 Grus, sand Grusig eller sandig morän Krossmaterial med motsvarande kornfördelning	3a Grusig, sandig eller normalmorän Krossmaterial med motsvarande kornfördelning	3b Silt, halvfast till mycket fast lera Övriga moräner
Handstamp, min 15 kg ¹	3	—	0,15	0,10	0,10
Jordstamp, min 80 kg ¹	3	—	0,30	0,25	0,20
Vibratorstamp, min 50 kg ¹	3	—	0,30	0,25	0,20
Vibratorplatta, min 50 kg ¹	4	—	0,15	—	—
Vibratorplatta, min 100 kg ¹	4	—	0,20	0,10	—
Vibratorplatta, min 400 kg	4	0,40	0,35	0,25	0,15
Traktordragen vibrationsvält, min 3 ton	6	0,70	0,40	0,30	0,20
Traktordragen vibrationsvält, min 5 ton	6	1,00	0,55	0,45	0,30
Vibr tandemvält, statisk linjelast min 5 kg/cm	6 ²	—	0,15	0,10	—
Vibr tandemvält, statisk linjelast min 10 kg/cm	6 ²	—	0,20	0,15	0,10
Vibr tandemvält, statisk linjelast min 20 kg/cm	6 ²	—	0,30	0,25	0,15
Vibr tandemvält, statisk linjelast min 30 kg/cm	6 ²	—	0,45	0,35	0,25
Statisk trevalsält, statisk linjelast min 50 kg/cm	6	—	0,25	0,20	0,20
Gummihjulsvält, hjultryck min 1,5 ton	6	—	0,20	0,20	0,20
Gummihjulsvält, hjultryck min 2,5 ton	6	—	0,30	0,25	0,25
Bandtraktor, min 10 ton	6	—	0,25	0,20	0,20

Fotnot till tab C/3

¹ Används på små packningsytor, t ex vid packning av kringfyllning i ledningsgrav och som komplement till större packningsmaskiner.

² Vid vibrering på båda valsarna kan antalet överfarer minskas till 4.

Tabell 3. Riktvärden för största lagertjocklek och antal överfarer vid packning i klass 2 enligt Mark AMA 72, Tabell C/3.

Recommended values for the maximum thickness of layer and number of crossings by compaction in class 2 according to Mark AMA 72, Table C/3.

2.1.4 "C 2.4 Resterande fyllning

Kraven på material för resterande fyllning har sammanställts i nedanstående tabell.

Grupp	Uppschantat material	Tjälfarlighetsgrupp	Resterande fyllning för	
			Hårdgjord yta	Gräs- och planteringsyta, naturmark
1	Sprängsten Block och sten		Sprängskärv, krosskärv, samkross eller material ur grupp 2	Sprängskärv, krosskärv, samkross eller material ur grupp 2 och 3 ¹
2	Grus, sand grusig eller sandig morän	I	Uppschantat material	Uppschantat material
3a	Grusig, sandig eller normalmorän	II	Uppschantat material	Uppschantat material
3b	Silt, halvfast till mycket fast lera Övriga moräner	II	Uppschantat material	Uppschantat material
		III	Material ur grupp 2, 3a, 3b (tjälfarlighets- grupp II) Samkross 0--65	Uppschantat material
4	Lös och mycket lös lera. Torv, dy och gyttja		Föreskrivs i varje särskilt fall	Föreskrivs i varje särskilt fall

¹ Vid ledningsgrav i berg som överlagras av lera utförs resterande fyllning med lera.

Tabell 4. Krav på material till resterande fyllning enligt Mark AMA 72, Tabell C2/1.

Demand on material to the upper part of the fill according to Mark AMA 72, Table C2/1.

Utöver ovanstående materialkrav anger föreskrifterna:

"Under hårdgjord yta och under byggnad packas resterande fyllning enligt klass 2, tabell C/2 ovan."

(Tabell 2)

Av föreskrifterna framgår sålunda att t ex torrskorperlera kan användas som resterande fyllning men skall packas väl. Kravet på packningsarbete är lika omfattande som för en byggnad.

2.1.5 Kommentarer

I ett normalfall, ett exploateringsområde på plan åkermark, kommer sålunda sammanfattningsvis att gälla:

1. Ledningsbädd av sidotagsmassor, ej packad.
2. Kringfyllning av sidotagsmassor som packas enligt särskild föreskrift, Tabell 3.
3. Resterande fyllning av uppschaktade massor som packas enligt särskild föreskrift, Tabell 3.

Erfarenhetsmässigt är dessa föreskrifter dock svåra att följa. Så t ex skall kringfyllningen packas enligt klass 2, vilket vid material enligt grupp 2 endast ger möjlighet att använda handstamp över ledningarna medan man mellan dem kan använda en vibroplatta med massan 100 kg, jfr Tabell 3 och 5. Härför erfordras minst fyra överfarter med lagertjockleken högst 0,2 m samtidigt som man måste uppfylla kravet på en minsta fyllningstjocklek över ledningen på 0,25 m enligt Tabell 5. Erfarenhetsmässigt blir packningsresultatet dåligt men det är ej känt hur stora sättningar som uppkommer i kringfyllningen.

Packningsmaskin		Minsta fyllningstjocklek (m) över ledningshjässa före packning
Jordstamp	80—120 kg	0,60
Vibratorstamp	50—100 kg	0,50
Vibratorplatta	50—100 kg	0,25
Vibratorplatta	100—200 kg	0,40
Vibratorplatta	400—600 kg	0,80
Traktordragen vibrationsvält	3—4 ton	1,00
Vibrerande tandenvält	1—2 ton	0,50
Slätvält	10 ton	1,00
Bandtraktor	10 ton	1,00

Fyllningsmaterial ur grupp 2 enligt tab C/1 packas bäst vid optimal vattenhalt eller om finkornshalten understiger ca 10%, vid full vattenmätning. Hänsyn måste dock tas till underliggande lagars vattenkänslighet. För fyllningsmaterial ur grupp 3 skall optimal vattenhalt eftersträvas. Rekommendationer för packning, se Packning av jord- och stenfyllningar.

Vid packning av fyllning närmast över ledningshjässa är det ofta nödvändigt att använda packningsmaskin med liten djupverkan — exempelvis handstamp eller vibratorplatta med vikten 50 till 200 kg — tills minsta fyllningstjocklek uppnåtts för tyngre packningsmaskin.

Tabell 5. Minsta fyllningstjocklek över ledning före packning enligt Mark AMA 72, tabell C/5.

Minimum thickness of filling above pipe before compaction according to Mark AMA 72, Table C/5.

Vid packning av den resterande fyllningen under hårdgjorda ytor har man också haft problem eftersom det av ekonomiska skäl varit nödvändigt att använda allt material enligt grupp 3 till resterande fyllning, dvs oavsett om det tillhört tjälfarlighetsgrupp II eller III.

Vid användning av t ex en 400 kg vibroplatta skall skikt-tjockleken vid materialgrupp 3b enligt Tabell 3 vara högst 0,15 m och antal överfarter minst fyra. Det är omöjligt att utan särskild bearbetning av torrskorpelera utföra denna fyllning och packning.

2.2 Normalutförande i Linköping

I Linköpings kommun utför Tekniska Verken AB lednings- och gatuarbeten enligt typsektion i Fig 2.

2.2.1 Ledningsbädd och kringfyllning

I Linköping följs i möjlig mån föreskrifterna i Mark AMA 72 för fyllning och packning av ledningsbädd och kringfyllning.

2.2.2 Resterande fyllning

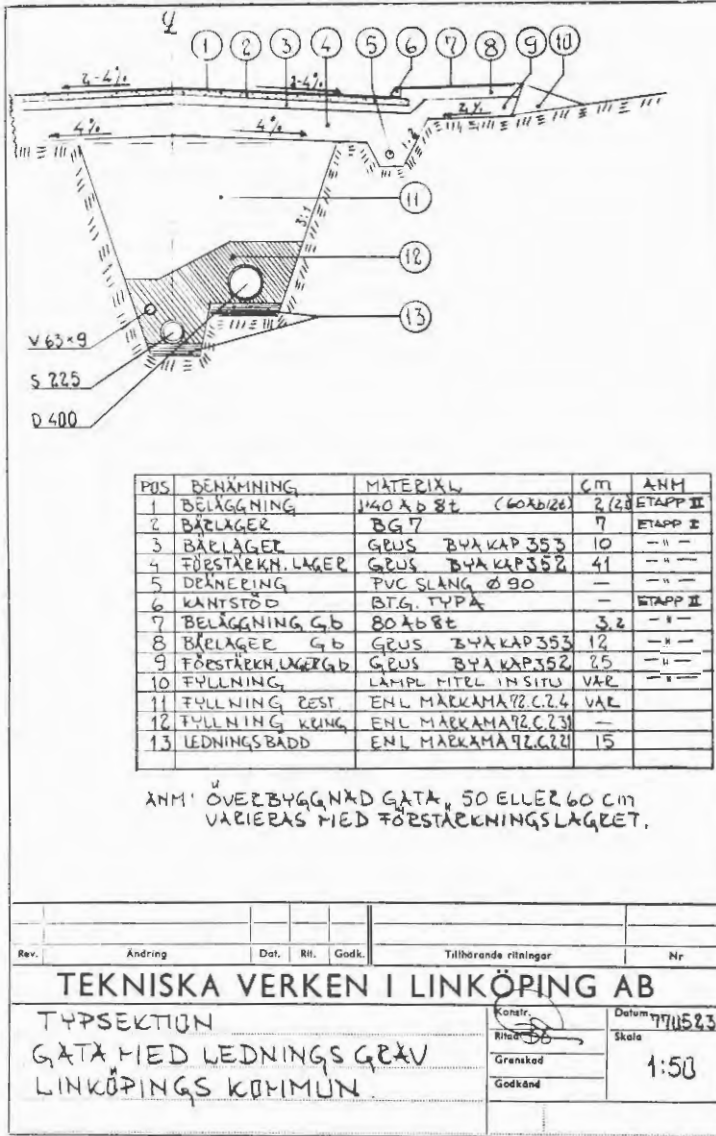
Den resterande fyllningen under icke hårdgjorda ytor utgör normalt inget problem eftersom sättningar där är av mindre betydelse. Därför lämnas denna typ av fyllning utanför denna genomgång.

För resterande fyllning under hårdgjorda ytor används av ekonomiska skäl, som ovan angivits, uppschaktade massor. Uppfyllning och packning kan dock ej utföras enligt föreskrifterna i Mark AMA 72 utan utförs ofta på följande sätt:

Utfyllningen utförs med grävmaskin i skikt om 0,5-0,7 m eller med bandtraktor, som skjuter tillbaka de uppschaktade massorna i rörgraven, varvid skikttjockleken blir 0,5-1,0 m.

Packningen sker skiktvis antingen genom att jorden trycks till med skopan på grävmaskin eller genom ett antal överfarter med bandtraktor.

På senare tid har man vid Tekniska Verken i Linköping även använt en 400 kg vibroplatta och en skikttjocklek vid återfyllningen på 0,4 m. För att plattan skall kunna gå fram över den ojämna fyllningen har man på



Figur 2. Typsektion över gata med ledningsgrav, Linköpings kommun.

Typical section for a street with pipe line trench at Linköpings kommun.

varje lerskikt lagt en avjämning av ca 0,05 m sand. Härigenom erhålls också viss tätning av fyllnadsjorden. Med hänsyn till rörmaterialets hållfasthet kan dock packningsarbetet påbörjas först sedan fyllningen nått höjden 0,8 m över ledningen, jfr Tabell 5. Enligt senare erfarenheter erhålls dock ej heller med denna metod något fullgott resultat eftersom lerklumpar är svåra att packa med detta redskap till en homogen massa.

Efter ledningsarbetena utförs gatubyggandet i två etapper. Etapp I omfattar den egentliga gatan upp till och med bärlager av bitumenstabiliserat grus (BG) medan etapp II omfattar gångbana och slutlig beläggning. Eventuella justeringar av bärlagret utförs normalt före etapp II.

Det bedöms av Tekniska Verken i Linköping som angeläget att man söker få fram enklare och bättre metoder för packning av resterande fyllning av material ur speciellt grupp 3b enligt tabell C/1 Mark AMA 72 (Tabell 1).

3 EXEMPEL PÅ INTRÄFFADE SÄTTNINGAR

3.1 Allmänt

För att erhålla en bild av hur stora sättningarna kan bli för olika objekt har man studerat några utförda ledningsarbeten där sättningarna och det ekonomiska resultatet varit dokumenterat i någon form. Sammanlagt har tre objekt studerats. De är belägna i Vårgård, Sjögestad och Sturefors inom Linköpings kommun.

3.2 Studium av uppmätta sättningar i ledningsgravar

Gemensamt för de tre objekten är att ledningarna ligger i gatumark inom områden, som bebyggts eller skall bebyggas med småhus.

3.2.1 Vårgård, Rönnhagsvägen

Detta objekt omfattar 500-600 m ledningsgrav i Rönnhagsvägen inom stadsdelen Vårgård, jfr Fig 3. Jorden

urgörs, enligt geoteknisk utredning, under ett tunt matjordsskikt huvudsakligen av torrskorpelera. Ställvis når den utförda schakten ner i underliggande morän eller berg. Följande ledningar har nedlagts i området:

Dagvatten $\phi 225$ och $\phi 300$ (Gk-G resp Kanmax)
 Spillvatten $\phi 225$ (Kanmax)
 Vatten $\phi 100$ och $50 \times 7,2$ (Segjärn resp PEL).

Djupet från gatunivå till den understa ledningen (spillvatten) varierar mellan 2,3 m och 4,8 m.

Återfyllningen skulle enligt projekteringshandlingarna ske enligt Mark AMA 72 på följande sätt:

<u>ÅTERFYLLNADSMASSOR</u>	<u>MARK AMA 72</u>
1. Ledningsbädd 0,15 m material och packning enl	C 2.21
2. Understopning med material enl	Tab C/1 Grp 2
3. Kringfyllning med material och packning enl	C 2.31
4. Kringfyllning med bef material med max stenstorlek 50 mm. Packas enl	C 2.31
5. Resterande fylln med max stenstorlek 300 mm packas enl	C 2.4

Innebörden av paragrafsangivelserna framgår av avsnitt 2.1. Den resterande fyllningens tjocklek varierar mellan 0,8 och 3,3 m. Den största mäktigheten återfinns omkring punkt 11, se Fig 3.

Gatornas uppbyggnad från terrassen skulle bestå av förstärkningslager av grus samt bärlager av grus och asfalt. Totala tjockleken av vägöverbyggnaden skulle vara 0,50 och 0,60 m för stickgator respektive huvudgata.

Beskrivning av utförandet

Ledningsarbetena utfördes under tiden april-juni 1974. Under sommaren och hösten 1974 utfördes gatuarbetena. Väderleksförhållandena bedömdes med hänsyn till arbetets genomförande som mycket goda.

Sträcka 11-13

Schaktningsarbetet, som var besvärligt, utfördes i morän och silt. Schaktens tvärsnittsarea blev stor och vattenlänsning samt extra utbottning under ledningsbädden (makadam och samkross) erfordrades. Schakten kunde ej utföras med hylla för dagvattenledningen utan en pall fick byggas upp. Ledningsbädden och pallen packades med vibroplatta. Kringfyllningen packades till lägst i nivå med underkant vattenledning med 100 kg vibroplatta och stamp. Till den resterande fyllningen användes endast ca 25% av det uppschaktade materialet. Resten utgjordes av torrskorpelera från annan schakt.

Sträckorna 14-14:1, 15-15:1 och 16-17

Schaktningsarbetet utfördes i huvudsak i torrskorpelera. Dagvattenledningen ligger på hylla. Ingen ledningsbädd utfördes. Kringfyllningen utfördes på samma sätt som för sträckan 11-13 (se ovan). Till den resterande fyllningen användes det uppschaktade materialet (torrskorpelera).

Generellt gäller att den resterande fyllningen med uppschaktat material packats i två skikt. Det första till ca 1 m över översta ledningen och det andra till terrassnivån. Packningen utfördes med bandtraktor, som körde längs ledningarna. Ytterligare packning med traktordragen vibrovält erhöles i samband med gatubyggnationen.

Sättningar och justeringsarbeten

I samband med att gatorna skulle färdigställas med toppbeläggning hösten 1975 konstaterades att sättningar på upp till 200 mm inträffat över den aktuella ledningsgraven.

Under hösten 1975 utfördes justering av gatorna genom viss urgrävning och ny beläggning. Den totala mängden asfalt (BG + Ab) för dessa justeringsarbeten var 330 ton vilket motsvarar 140 kg/m². Detta motsvarar i sin tur 54 mm tjocklek i genomsnitt över hela gatuarealen.

Toppbeläggningen utfördes därefter enligt normalsektion under tiden augusti-september 1976. Vid vändplanen (punkt 11, Fig 3) har ingen toppbeläggning utförts.

Under tiden mellan utförandet av etapp 1 och toppbeläggningens påförande pågick byggnation av småhus inom området varvid gatorna i stor utsträckning användes för transporter.

3.2.2 Sjögestad, Fältgatan

Detta objekt omfattar ca 300 m ledningsgrav i Fältgatan inom stadsdelen Sjögestad, jfr Fig 4. Jorden utgörs under ca 0,3 m matjord av 2-3 m torrskorpelera, som delvis är siltig. Därunder finns lerig silt och silt. På en kortare del av ledningssträckan ligger 1-2 m torrskorpelera direkt på berg. Följande ledningar har nedlagts i området:

Dagvatten $\phi 225$ (Kanmax)

Spillvatten $\phi 225$ (Kanmax)

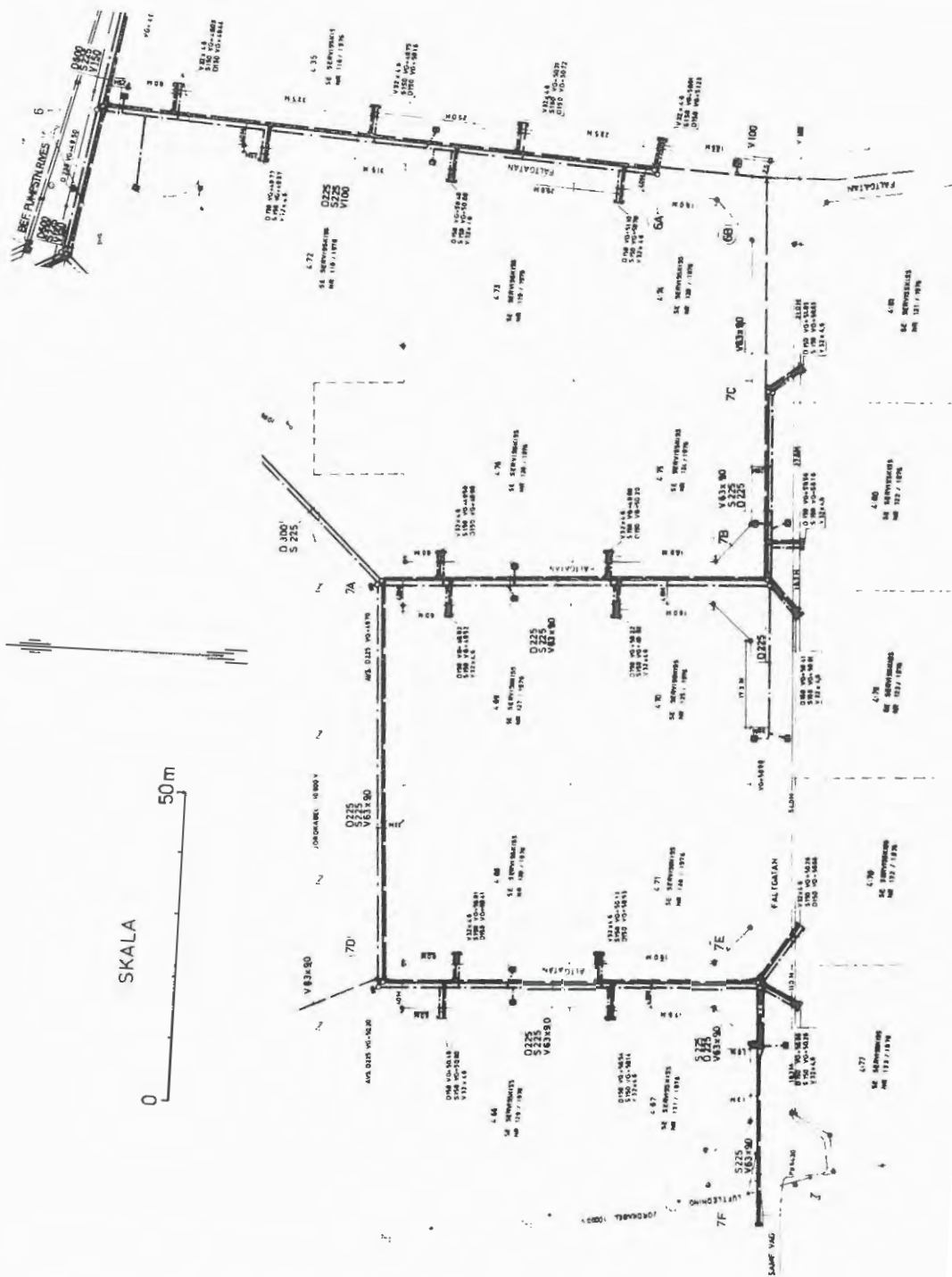
Vatten $\phi 100$ (Segjärn) $\phi 63 \times 9,0$ (PEL)

Djupet från gatunivån till den understa ledningen (spillvatten) varierar mellan 2,8 och 3,4 m.

Återfyllningen skulle enligt projekteringshandlingarna ske enligt Mark AMA 72, i princip på samma sätt som vid Vårgård.

Tjockleken av den resterande fyllningen varierade i allmänhet mellan 1,4 och 1,7 m. Vid vändplanen (punkt 6, Fig 3) var dock tjockleken 2,1 m.

Gatornas uppbyggnad från terrassen skulle bestå av förstärkningslager av grus samt bärlager av grus och asfalt. Totala tjockleken av vägöverbyggnaden skulle vara 0,50 m. Dessutom har dräneringsledningar med perforerad PVC-slang utförts i vägkanterna.



Figur 4. Plan över gator och ledningar i Sjögestad.

Site plan for streets and pipe line systems at Sjögestad.

Beskrivning av utförandet

Ledningsarbetena påbörjades under april 1976 och pågick till slutet av maj. Efter hand som ledningsschakterna återfylldes utfördes terrasserings- och gatuarbetena, vilka var avslutade i början av juni 1976.

Under byggnadstiden var nederbördsmängden av storleken någon mm/dygn. Vissa dagar uppgick nederbörden till 2 ä 4 mm samt 1 dag till drygt 8 mm.

Schaktningsarbetena utfördes enligt arbetsledningen i huvudsak i torrskorpelera och fast silt, se Fig 5.

Kringfyllningen utfördes med uppschaktade massor. Dessa, som vid schaktningen lagts upp intill ledningsgraven, lyftes ned i schakten med grävmaskin. Därefter utfördes packning genom att grävmaskinen försiktigt tryckte på massorna, Fig 6. Försök gjordes att packa med vibroplatta men detta var ej genomförbart på grund av rådande väderförhållanden.

Även den resterande fyllningen utfördes med uppschaktade massor. Packningen av dessa utfördes på de fria sträckorna mellan serviser och brunnar med bandtraktor D4 då fyllning utförts till ca 0,5 m under terrassnivån. Detta motsvarar 0,9-1,2 m fyllningstjocklek. Därefter uppfylldes till terrassnivån och packning utfördes först med bandtraktor och därefter med 3,5 tons vibrovält, som drogs omväxlande av bandtraktor, Fig 7, och fyrhjulsdriven hjullastare.

Vid utförandet av gatuöverbyggnaden kunde lastbilar inte köra på terrassytan på grund av för låg bärighet i den utlagda resterande fyllningen. Ej heller kunde någon packning av överbyggnaden med vält utföras på stora delar av ledningssträckan.

Sättningar och justeringsarbeten

Efter byggnadsarbetenas färdigställande utfördes avvägning (76-06-03) vilken visade att beläggningsytan



Figur 5. Ledningsschakt vid Sjögestad.

Open excavation at Sjögestad.



Figur 6. Packning av kringfyllning vid Sjögestad.

Compaction of the lower part of the fill at Sjögestad.



Figur 7 Packning av resterande fyllning vid Sjögestad.

Compaction of the upper part of the fill at Sjögestad.



Figur 8. Exempel på sättning över ledningsgrav vid Sjögestad.

Settlements in the street at Sjögestad.

låg mellan 110 mm under och 120 mm över projekterad nivå. Under sommaren inträffade enligt uppgift sättningar av storleken maximalt 100-150 mm. Sättningarna illustreras i Fig 8. Under hösten 1976 utfördes justering med BG och Ab för att vinterväghållning skulle kunna utföras. Ungefärlig mängd BG och Ab för denna justering var 60-65 ton (30 kg/m^2), vilket motsvarar en genomsnittlig tjocklek över den berörda gatuarealen på 12 mm.

Efter justeringsarbeten inträffade ytterligare sättningar, vilket konstaterades vid avvägningar 76-11-02. Storleken på dessa sättningar var upp till 170 mm. Justering skedde under hösten 1977 och omfattade 155 ton beläggning. Den totala justeringsmassan uppgår därmed till 215-220 ton vilket motsvarar 90 kg/m^2 gata eller en tjocklek över hela gatuarealen på 35 mm.

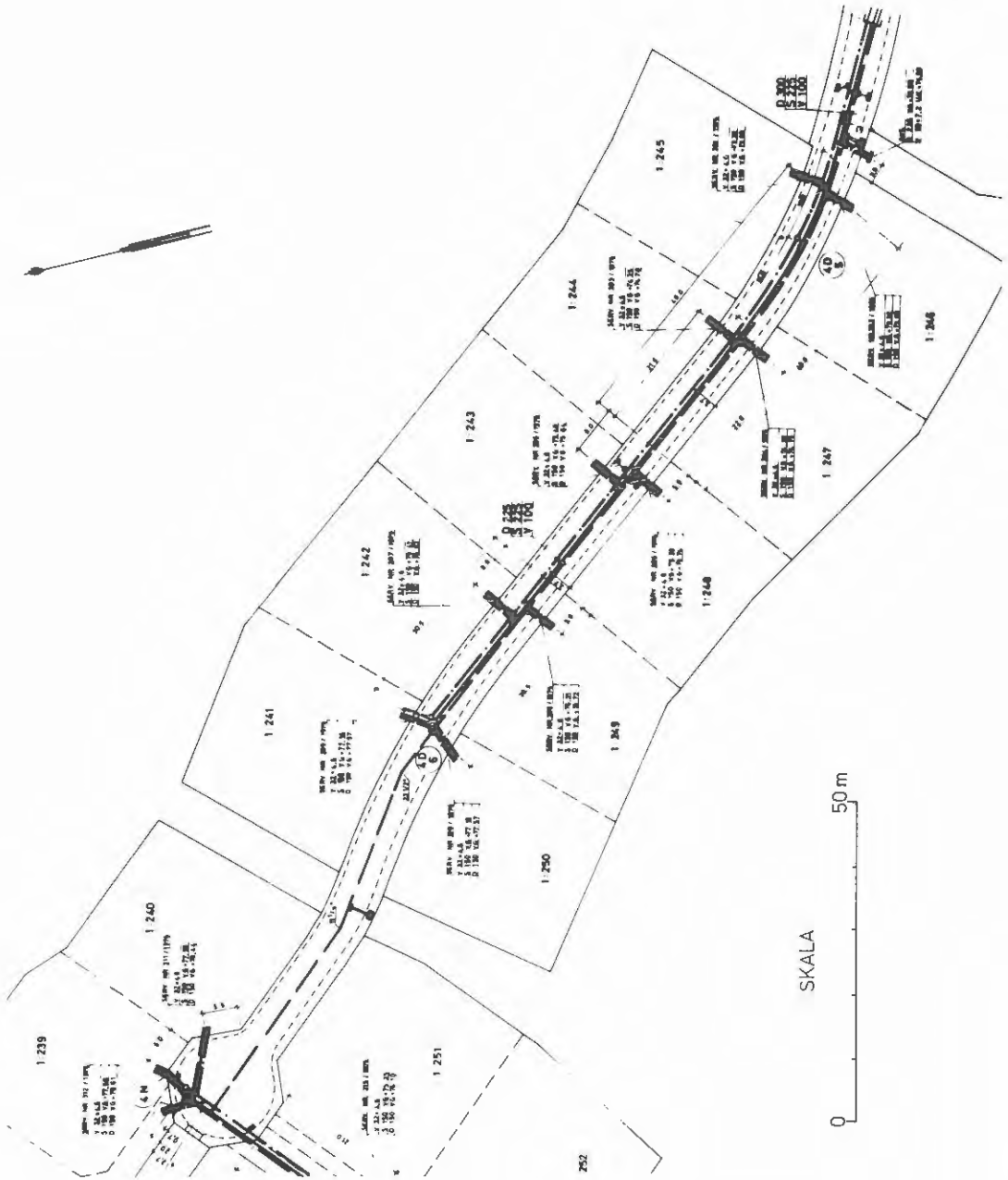
3.2.3 Sturefors, Porsvägen

Detta objekt omfattade 200 m ledningsgrav i Porsvägen i Sturefors, jfr Fig 9. Jorden utgörs enligt geoteknisk utredning, under 0,3 m matjord, av 2,0-4,0 m siltig torrskorpelera på morän eller berg. På viss del av sträckan har bergschakt utförts i ledningsgraven. Följande ledningar har lagts ned:

Dagvatten $\phi 225$ (Kanmax)
 Spillvatten $\phi 225$ (Kanmax)
 Vatten $\phi 100$ (Segjärn)

Djupet från gatunivå till den understa ledningen (spillvatten) varierar mellan 2,8 och 3,4 m. Ledningarna och gatan ligger i 30 ä 35 o/oo lutning åt sydost.

Återfyllningen skulle enligt projekteringshandlingarna ske efter Mark AMA 72 enligt följande:



Figur 9. Plan över gata och ledningar i Porsvågen vid Sturefors.
 Site plan for street and pipe line systems at Sturefors.

ÅTERFYLLNADSMASSORMARK AMA 72

- | | |
|---|--------|
| 1. Ledningsbädd 0-0,15 m enl | C 2.21 |
| 2. Kringfyllning med friktionsmaterial vid spillvattenledning enl | C 2.31 |
| 3. Övrig kringfyllning enl | C 2.31 |
| 4. Resterande fyllning enl | C 2.4 |

Innebörden av paragrafsangivelserna framgår av avsnitt 2.1. Den resterande fyllningens tjocklek varierade mellan 1,3 och 1,9 m med största tjocklek mellan punkterna 4D5 och 4D6.

Gatans uppbyggnad överensstämmer med objekt Sjögestad, dvs 0,5 m total överbyggnadstjocklek och dräneringsledningar längs gatans båda sidor.

Beskrivning av utförandet

Under tiden 15 juni-27 augusti 1976 utfördes ledningsarbetena och under tiden 24 augusti-17 september 1976 gatuarbetena. Vädret var mestadels varmt och torrt under hela byggnadstiden.

Schaktningsarbetet utfördes, enligt arbetsledningen, i fast siltig lera, varav ca 1,0 m torrskorpa. Viss sprängning av jord, sten och berg utfördes.

Ledningsbädd och kringfyllning utfördes av grus och sand enligt anvisningarna.

Resterande fyllning utfördes med uppschaktade massor som lades i skikt om 0,25-0,30 m tjocklek samt avjämnades med 0,05 m sand. Varje sådant skikt packades med 400 kg vibroplatta (5 överfarter). Ingen vattning utfördes.

Gatuöverbyggnaden har kunnat utföras på normalt sätt, dvs med packning av förstärknings- och bärlager.

Sättningar och justeringsarbeten

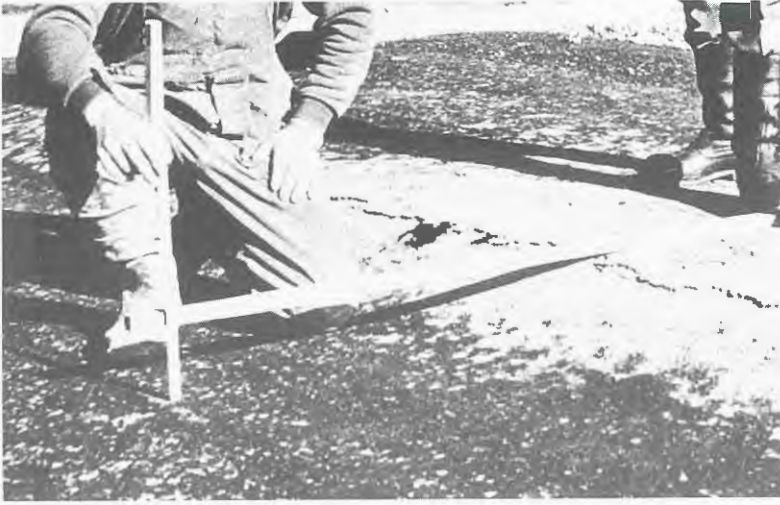
Från färdigställandet av gatan i september 1976 till slutet av mars 1977 låg vägen utan trafik. Vid snösmältningen i slutet av mars kunde konstateras att sättningar på upp till 200 mm inträffat under vintern. Av Fig 10-13 framgår sättningarnas omfattning. Sättningarna har inträffat längs hela ledningsgraven inklusive grav för servisledning. Gränsen mellan sättningsfritt område och område med sättning är så påtaglig att ledningsgravens schaktöppning kunde urskiljas i vägbanan. Dessutom hade på ett ställe inträffat ett kraftigt genombrott i hela överbyggnaden, jfr Fig 13.

Efter avvägning av gatan utfördes justeringsarbeten genom en delvis uppgrävning och borttagning av pålagd BG samt komplettering med bärlagergrus och ny BG. Justeringsmassorna omfattar ca 100 m³ bärlagergrus och BG vilket motsvarar en genomsnittlig justering av vägbanan på 90 mm. Viss mindre del härav, uppskattningsvis ca 20 mm, härrör dock från bortschaktad BG och ej från uppkomna sättningar.



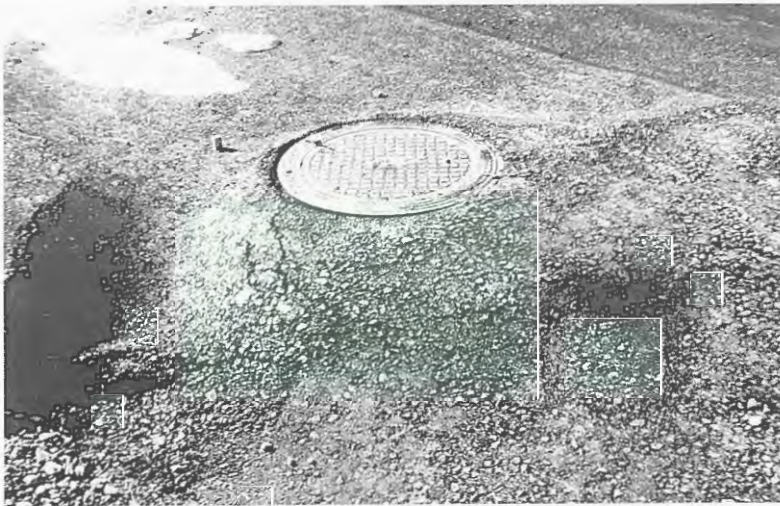
Figur 10. Sättningar vid Sturefors.

Settlements in the street at Sturefors.



Figur 11. Detalj av sättningskada (ca 100 mm) vid Sturefors.

Broken pavement at Sturefors.



Figur 12. Exempel på sättning kring brunn vid Sturefors.

Settlement around a manhole at Sturefors.



Figur 13. Lokalt genombrott i överbyggnaden vid Sturefors.

A local collapse in the pavement at Sturefors.

3.3 Kostnader orsakade av sättningar i ledningsgravar

För de tre ovan redovisade objekten utfördes justeringsarbeten som beskrivs i avsnitt 3.2. Avsikten var att återställa gatorna till projekterad nivå för underkant toppbeläggning (Ettapp I).

I följande sammanställning framgår dels den totala kostnaden för dessa justeringsarbeten, dels kostnaderna uträknade per m² och per längdmeter gata. Kostnaderna är ungefärliga.

Objekt	Total kostn (kr)	Kostn/m ² (kr)	Kostn/1 m (kr)
Värgård	40.000	17	90
Sjögestad	35.000	16	109
Sturefors	32.000	25	165

Kostnaden per längdmeter gata kan även sägas ungefär motsvara kostnaden per m ledningsgrav.

Det bör även påpekas att eftersom sättningarna var ovanligt stora och omfattande vid Sturefors får kostnaderna för reparationerna där betraktas som extrema.

Som jämförelse till ovan nämnda kostnader kan anges att ett utbyte av återfyllnadsmassor från lera till friktionsmaterial, vilket erfarenhetsmässigt ger betydligt mindre sättningar, i Linköping 1977 kostade mellan 90 och 140 kronor per m ledningsgrav.

Vid Tekniska Verken i Linköping AB uppgår den erforderliga mängden justeringsmassa inom exploateringsområden till som lägst 30 å 40 kg/m² körbaneyta och som högst 100 å 150 kg/m² körbaneyta. I medeltal beräknas justeringsmassan av bitumenstabiliserat grus uppgå till 70 kg/m². Huvuddelen av dessa massor (50 kg/m²) bedöms utgöra kompensation för inträffade sättningar i ledningsgravar. Den årligen tillkommande mängden körbaneyta inom exploateringsområden i Linköping är ca 50.000 m². Detta innebär en justeringskostnad till följd av sättningar i ledningsgravar inom exploateringsområdet i Linköping på ca 375.000 kronor vid ett pris av 150 kr/ton på justeringsmassan.

Om man innefattar alla lednings- och servisledningsarbeten inom kommunen belägna i gatumark beräknas den årliga justeringskostnaden till följd av sättningar i ledningsgravar uppgå till 0,5 å 1,0 milj kronor/år för Linköpings kommun.

I Sverige nyanläggs ca 2500 km avloppsledningar per år. Om hälften av ledningarna antas bli lagda i ler- och siltjordar erhålls, med en justeringskostnad av 100 kronor per m ledningsgrav, en total kostnad för landet på 100-150 miljoner kronor per år.

4 UPPSCHAKTNING OCH STUDIUM AV FYLLNADSMASSOR I TVÅ TIDIGARE UTFÖRDA LEDNINGSGRAVAR

4.1 Allmänt

För att få en uppfattning om återfyllningens beskaffenhet, schaktbredd m m vid tidigare utförda ledningsarbeten har två objekt närmare undersökts. Arbetet på dessa platser föreslogs ske enligt följande program:

- Lämpliga objekt väljs. Två objekt bör studeras varav ett bör vara utfört med återfyllningen packad i lager. Dessutom bör inträffade sättningar vara dokumenterade.
- Uppschaktningen utförs ned till överkant på understa ledning. Schakten skall i sidled omfatta hela den tidigare schakten så att gränsen mellan naturligt lagrad jord och återfyllning kan studeras.
- Följande observationer skall utföras: avvägning av vägbanans yta, uppmätning av asfalttjocklek, bärlager och förstärkningslager och eventuella skikt i återfyllningen, provtagning i återfyllning och naturlig jord, avvägning och inmätning av ledningarna, fotografering med kartering av eventuella håligheter och klumpbildningar.
- De upptagna jordproverna undersöks med avseende på jordart, densitet och vattenkvot.

Vid en genomgång av tillgängliga objekt uppkom svårigheter att hitta sådana som uppfyllde förutsättningarna i arbetsprogrammet. Av de i kapitel 3 medtagna objekten valdes dock två, nämligen Vårgård och Sjögestad. Beskrivning av objekten framgår av kapitel 3.

4.2 Objekt Vårgård

4.2.1 Fältarbete

Fältarbetet utfördes 77-05-03. Med hänsyn till att återfyllningens tjocklek var störst vid punkt 11, jfr Fig 3, valdes att göra undersökningen inom vändplanen vid denna punkt. Inom detta område var ingen toppbeläggning då utförd.

Under schaktningsarbetet inträffade ett mindre skred i den branta schaktslänthen så att asfalten bildade överhäng på 0,3 ä 0,4 m. Vid schaktning i kringfyllningen (handschaktning) strömmade stora mängder vatten in i schakten.

Allt arbete, dvs uppschaktning, mätningar, provtagning, igenfyllning m m utfördes under en dag. Provtagning i schaktväggen utfördes med s k ytprovtagare.

4.2.2 Undersökningsresultat

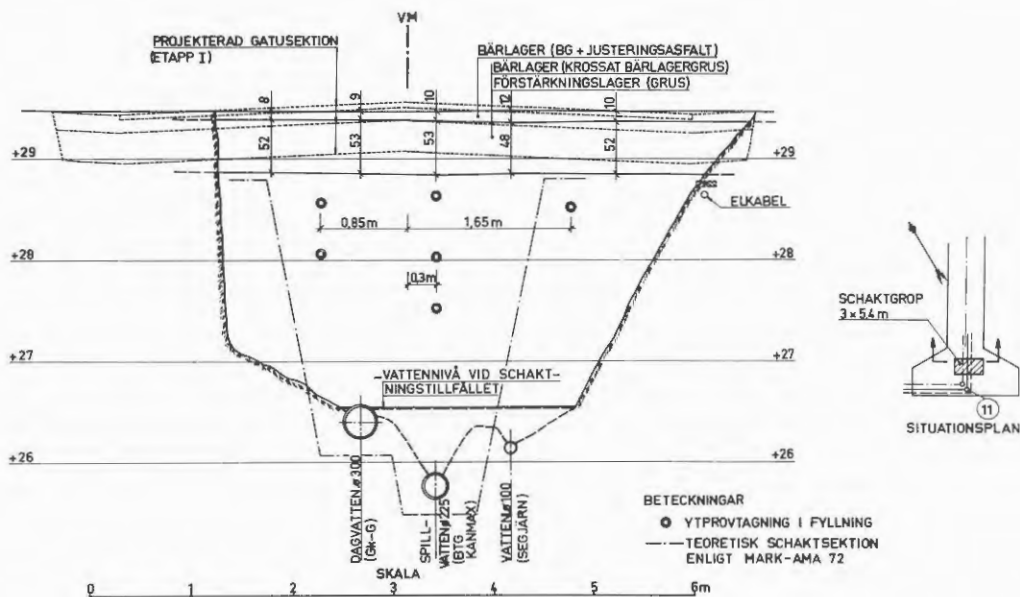
Resultaten av undersökningen har sammanställts i Fig 14- 17.

Asfalttjockleken (två lager BG) var 0,08-0,12 m och det övriga bärlagret och förstärkningslagret var 0,48-0,53 m tjockt. Den sammanlagda tjockleken varierade mellan 0,60 och 0,63 m. Denna kan jämföras med en projekterad tjocklek av 0,48 m (före toppbeläggning).

Vid uppschaktningen kunde den ursprungliga schaktsektionen inte återfinnas varför man får anta att den verkliga schakten varit större än såväl den teoretiska sektionen som det nu upptagna hålet.

Någon skiktindelning eller några håligheter eller klumpbildningar kunde inte konstateras i återfyllningen, Fig 17.

Laboratorieundersökningen av upptagna jordprover från den resterande fyllningen, Fig 15, visar att jorden i



Figur 14. Schakt- och inmätningssektion vid Vårgård.

Section across the excavation at Vårgård.

PUNKT NIVÅ	JORDARTSBENÄMNING	SKRYM- DENSITET (t/m ³)	VATTEN- KVOT (%)	BERÄKNAD TORRDEN- SITET (t/m ³)	ANM
V0,85 m (FYLLNING)					
+28,56	Gråbrun torrskorpe- lera med mokörtlar, rostfläckig	1,98	28	1,55	
+28,06	Gråbrun lera med grus- och sandkorn, rostfläckig	1,80	42	1,27	
H0,3 m (FYLLNING)					
+28,64	Brungrå, något moig torrskorpe- lera med grus- och sandkorn	1,98	28	1,55	
+28,04	Gråbrun lera med mokörtlar och gruskorn	1,83	36	1,35	
+27,54	Brun varvig lera	(1,84)	40	(1,31)	Sten i provet
H1,65 m (FYLLNING)					
+28,53	Gråbrun torrskorpe- lera med gruskorn	1,72	39	1,24	

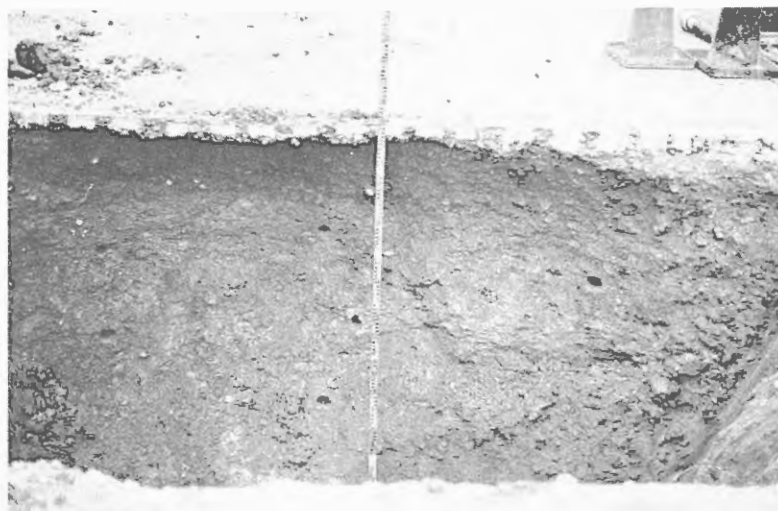
Figur 15. Jordprovtabell för Vårgård.

Table on soil characteristics at Vårgård.



Figur 16. Borttagande av två lager BG vid Vårgård.

Two layers of pavement (BG) was removed at Vårgård.



Figur 17. Schaktvägg vid Vårgård.

View of the excavation at Vårgård.

huvudsak består av torrskorpelera med inslag av sand- och gruskorn samt mokörtlar. Vidare framgår det att vattenkvoten i regel är lägst i de översta skikten av fyllningen (ca 28%) och ökar med djupet till 40 å 42%. Vid en beräkning av materialets torrdensitet visar det sig att högre värden erhöles överst i fyllningen (ca 1,55 t/m³) jämfört med prov från större djup (ca 1,30 å 1,35 t/m³).

Enligt den projekterade gatusektionen skulle vägens överyta i vägmitt ligga ca 0,1 m högre än den avvägda, vilket tyder på att ytterligare sättningar inträffat efter justeringsarbetena.

4.3 Objekt Sjögestad

4.3.1 Fältarbete

Fältarbetet utfördes 77-05-05. Även för detta objekt valdes att göra uppschaktningen där fyllningstjockleken var störst, dvs vid vändplanen vid punkt 6, jfr Fig 4.

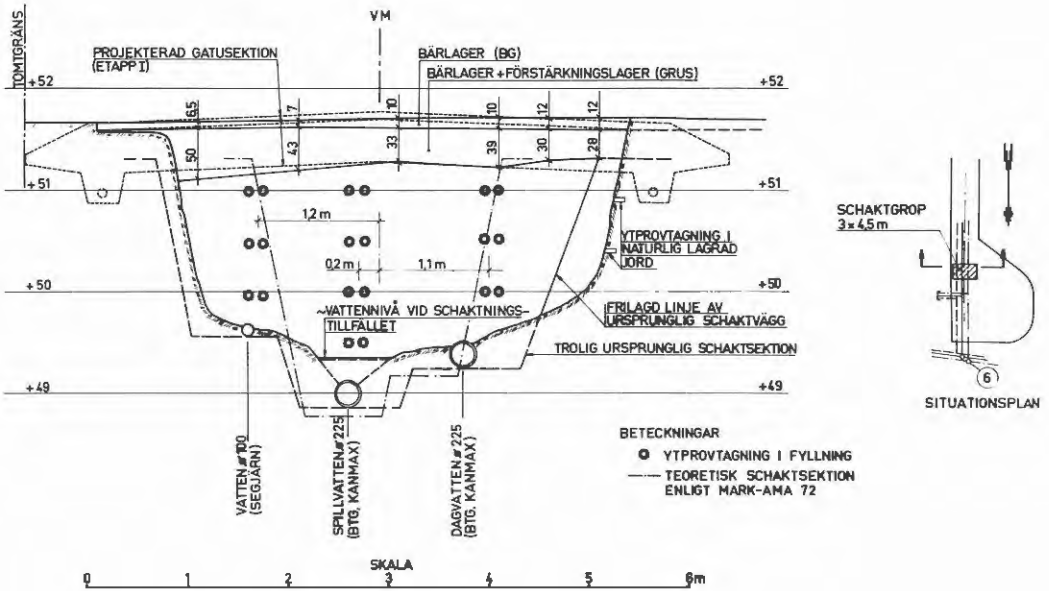
Provtagningen, som utfördes med ytprovtagare, har skett dels i återfyllningen dels i naturligt lagrad jord i schaktväggarna. I fyllningen har provtagningen dubblerats.

Vid schaktningen i kringfyllningen vid ledningarna rann vatten fram, se Fig 20.

4.3.2 Undersökningsresultat

Resultatet av undersökningarna har sammanställts i Fig 18-22.

Den uppmätta tjockleken av BG-asfalten var 0,065-0,12 m och det övriga bärlagret och förstärkningslagret var 0,25-0,50 m. Den totala tjockleken varierar mellan 0,40 och 0,56 m. Ställvis understiger denna tjocklek det projekterade värdet som var 0,48 m (före toppbeläggning).



Figur 18. Schakt- och inmätningssektion vid Sjögestad.

Section across the excavation at Sjögestad.

Även i detta fall var ledningsarbetena utförda med en bred ledningsgrav, se Fig 23. Vid uppschaktningen har endast en sida av den ursprungliga schaktväggen kunnat lokaliseras. Den breda schakten är enligt uppgift motiverad av arbetstekniska skäl. Av bilden, som är tagen i arbetsskedet, framgår att återfyllningen innehåller vissa klumpar. Vid uppschaktningstillfället har dock inte några håligheter eller klumpbildningar kunnat konstateras, Fig 20-22.

Undersökningarna av jordproverna, se Fig 19, visar att fyllningen består av lera med inslag av mokörtlar. Även i detta fall är vattenkvoten i huvudsak lägst överst i fyllningen (20 ä 30%) och ökar med djupet (25 ä 33%).

Med ledning av skrymdensiteten och vattenkvoten har torrdensiteten beräknats. Denna var även i detta objekt i regel högre i de översta lagren av fyllningen (ca 1,50 ä 1,65 t/m³) och avtog med djupet till 1,45 ä 1,50 t/m³.

PUNKT NIVA	JORDARTSBENÄMNING	SKRYM- DENSITET (t/m ³)	VATTEN- KVOT (%)	BERÄKNAD TORRDENSITET (t/m ³)
V 1,2 m (FYLNING)				
+50,98	Gråbrun torrskorpelera med mokörtlar, rostfläckig	2,00	25	1,60
+50,98	Gråbrun torrskorpelera med mokörtlar rostfläckig, växt- delar	2,04	23	1,66
+50,48	Gråbrun lera med mokörtlar, rost- fläckig	1,90	30	1,46
+50,48	Gråbrun lera, växt- delar	1,96	29	1,52
+49,98	Gråbrun lera	1,94	32	1,47
+49,98	Brun lera med mo- körtlar, rost- fläckig	2,01	25	1,61
V0,2 m (FYLNING)				
+51,00	Brun torrskorpelera med mokörtlar och inslag av matjord, växt- delar	2,05	24	1,65
+51,00	Brun torrskorpelera med mokörtlar och inslag av matjord, rostfläckig	1,95	19	1,64
+50,50	Brun lera med mo- körtlar	1,95	24	1,57
+50,50	Brun lera med mo- körtlar och enstaka gruskorn, rost- fläckig	1,90	28	1,48
+50,00	Brun lera med mo- körtlar, rost- fläckig	1,88	32	1,42
+50,00	Brun lera med mo- körtlar, rost- fläckig	1,94	28	1,52
+49,50	Brun lera med mo- körtlar, rost- fläckig	1,89	31	1,44
+49,50	Brun lera med mo- körtlar	1,94	31	1,48
H1,1 m (FYLNING)				
+51,02	Brun torrskorpelera med mokörtlar, växt- delar	1,89	29	1,47
+51,02	Brun torrskorpelera, rostfläckig	1,96	29	1,52
+50,52	Brun lera med mo- körtlar, rost- fläckig	2,02	26	1,60
+50,52	Brun lera med mo- körtlar, rost- fläckig	1,99	27	1,57
+50,02	Brun lera med mo- körtlar, växt- delar	1,88	28	1,47
+50,02	Brun lera med mo- körtlar, rost- fläckig, växt- delar	1,96	33	1,47
H2,3 m (NATURLIG LAGRAD JORD)				
+50,90	Brun torrskorpelera, rostfläckig, rottrådar	1,82	32	1,38
+50,40	Brun lera, rost- fläckig	1,94	32	1,47

Figur 19. Jordprovtabell för Sjögestad.

Table on soil characteristics at Sjögestad.



Figur 20. Vattenansamling i schaktgrop vid Sjöggestad. Schaktväggen rakt fram består under överbyggnaden av naturligt lagrad jord.

Also at Sjöggestad the excavation was partly filled up with water through the bottom fill.



Figur 21. Överbyggnadstjocklek vid Sjögestad.

The thickness of the pavement was measured at Sjögestad.



Figur 22. Schaktvägg vid Sjögestad. Till höger naturligt lagrad jord.

View of the excavation at Sjögestad. Natural soil to the right.

En jämförelse mellan fyllningen och den naturligt lagrade jorden vid sidan av den ursprungliga schakten visade att fyllningen har lägre vattenkvot och högre densitet än den naturliga jorden. Härav följer att även torrdensiteten i återfyllningen är högre än i den naturligt lagrade jorden.

Enligt den projekterade gatusektionen borde vägens överyta i vägmitt ligga ca 0,07 m högre än den vid undersökningstillfället avvägda. Efter första omgångens justeringsarbeten har avvägningar visat att sättningar på upp till 170 mm inträffat i området. Den uppmätta differensen på 70 mm innefattas sålunda i de uppmätta sättningsbeloppen.



Figur 23. Återfyllning vid Sjögestad.

Upper fill at Sjögestad.

5 UPPFÖLJNING AV SCHAKT- OCH ÅTERFYLLNING SAMT SÄTTNINGSFÖRLOPP PÅ DEL AV LEDNINGSGRAV

5.1 Allmänt

Att sättningar har inträffat och inträffar i ledningsgravarnas återfyllning har kunnat konstateras på olika sätt. För att få en uppfattning om hur stora sättningarna är på olika nivåer och i olika delar av en fyllning har man sökt finna ett lämpligt objekt där observationer redan från byggstart och under en längre tid kunde ske. Som en förutsättning angavs också att en tjällossningsperiod skulle ingå i observationstiden.

5.2 Objektbeskrivning och utförande

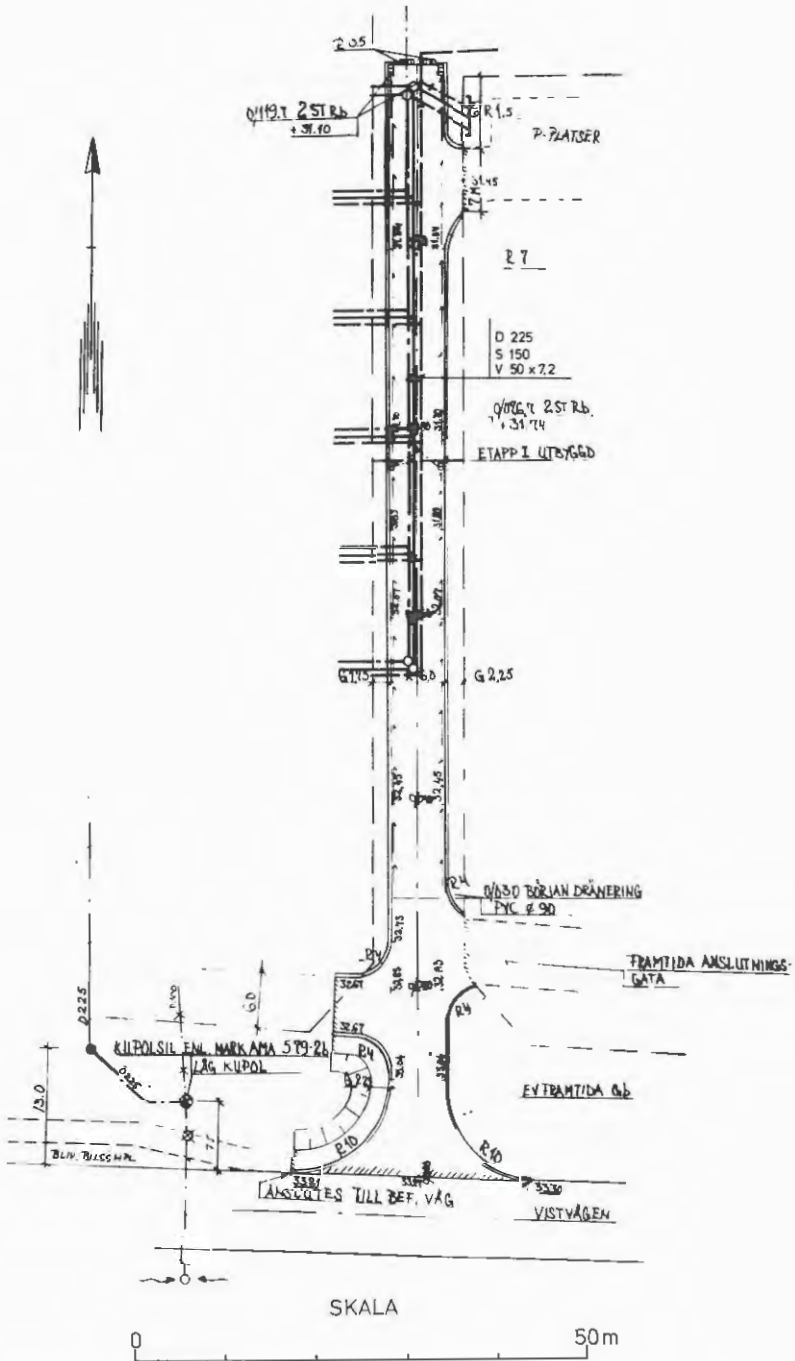
Det valda lednings- och gatuarbetet är beläget i ett större exploateringsområde av småhus vid Ekholmen i Linköping. Ledningsarbetet är av begränsad omfattning, ca 70 m. Av Fig 24 framgår ledningarnas läge i plan. Följande ledningar har lagts ned på den aktuella sträckan:

Dagvatten	φ225 (Kanmax)
Spillvatten	φ150 (Kanmax)
Vatten	φ 50 x 7,2 (PEL)

Djupet från gatunivån till den nedersta ledningen (spillvatten) varierar mellan ca 2,0 och 2,5 m.

Jorden består på den aktuella ledningssträckningen överst av 2-3 m siltig torrskorpelera och därunder av lös till halvfast lera till maximalt ca 7 m djup under markytan. Grundvatten har uppmätts på 1-2 m djup under markytan.

Återfyllningen skulle enligt projekteringshandlingarna ske efter Mark AMA 72 på följande sätt:



Figur 24. Plan över gata och ledningar vid Ekholmen.

Site plan for the street and pipe line system at Ekholmen.

<u>ÅTERFYLLNADSMASSOR</u>	<u>MARK AMA 72</u>
Ledningsbädd 0-0,15 m enligt	C 2.21
Kringfyllning med friktionsmaterial enligt	C 2.31
Kringfyllning med befintligt material enligt	C 2.31
Resterande fyllning enligt	C 2.4

Innebörden av paragrafsangivelserna framgår av avsnitt 2.1.

Tvärsektionen skulle utformas enligt Mark AMA 72, typ-ritning 131.

Den resterande fyllningens tjocklek varierade mellan ca 0,6 m och 1,1 m (vid mätstationerna 0,8 m i 0/110 och 1,1 m i 0/062).

Gatans uppbyggnad från terrassen skulle enligt handlingarna bestå av förstärkningslager av grus samt bärlager av grus och asfalt. Överbyggnadens totala tjocklek skulle bli 0,70 m. Dessutom skulle dräneringsledningar med perforerad PVC-slang $\phi 90$ mm utföras i vägkanten.

Beskrivning av utförandet

Ledningsarbetena startade 76-11-08 och avslutades 76-11-22. Gatuarbetena avslutades omkring 76-12-03.

Väderleksförhållandena var ur arbetssynpunkt tämligen gynnsamma med övervägande uppehållsväder och temperatur mestadels mellan 0° och 5° C. I slutet av perioden låg temperaturen omkring -1° ä -2° C.

Schaktningsarbetena utfördes i fast lera av torrskorpekaraktär med mjälaskikt och inslag av sand och gruskorn.

Schakten utfördes så att dagvattenledningen lades på hylla, Fig 25.



Figur 25. Ledningsgrav med hylla för dagvattenledning vid Ekholmen.

Open trench with a shelf for surface water pipe at Ekholmen.



Figur 26 Packning av ledningsbädd med 100 kg vibroplatta vid Ekholmen.

Compaction of the pipe foundation with a 100 kg vibrocompactor at Ekholmen.

Ledningsbädden utfördes av samkross och packades med 100 kg vibroplatta, se Fig 26.

Kringfyllningen utfördes med sand och packades med 100 kg vibroplatta i två skikt, först till i nivå med underkant vattenledning, ca 0,30 m tjockt, därefter till i nivå med överkant dagvattenledning med lutning ned mot vattenledningen.

Den resterande fyllningen utfördes med uppschaktade massor som lades ut och packades successivt genom att grävmaskinens skopa tryckte på massorna, se Fig 27 och 28. Efter uppfyllning till terrasseringsnivån utfördes ytterligare packning med bandtraktor (Cat 951) längs ledningarna i 6 överfarter, se Fig 31.

5.3 Fältarbete

Två mätstationer valdes, sektionerna 0/062 respektive 0/110. I dessa utfördes observationer under och efter schaktnings- och återfyllningsarbetet.

Följande arbetsprogram eftersträvades vid uppföljningen:

- Under schaktningsarbetena utförs provtagning i naturlig jord. Jorden undersöks med avseende på densitet, vattenkvot, flytgräns och hållfasthet (packningsförsök). Sedan schakten färdigställts görs uppmätning av schaktsektionen.
- Under återfyllningsarbetet noteras hur packningsarbetet utförs (lagertjocklekar, packningsredskap, material m m). Uppmätning av ledningsbädd, ledningar, kringfyllning och resterande fyllning utförs. Provtagning i den resterande fyllningen utförs för bestämning av densitet, vattenkvot och flytgräns. Eventuella klumpbildningar och håligheter i den resterande fyllningen noteras.
- Efter återfyllningsarbetet utförs installation av sättningsmätningstrustningen. Utrustningen utgörs av plaströr ($\phi 32$ mm) med magnetskruvar på lämpliga nivåer. Plaströren placeras dels i ledningsgravens



Figur 27. Packning av resterande fyllning med hjälp av grävmaskinens skopa vid Ekholmen.

Compaction of the upper part of the fill by an excavator at Ekholmen.



Figur 28. Resterande fyllning vid Ekholmen.

Upper fill at Ekholmen.



Figur 29. Resterande fyllning vid Ekholmen.

Upper fill at Ekholmen.



Figur 30. Resterande fyllning vid Ekholmen.

Detail of the upper fill at Ekholmen.



Figur 31. Packning av resterande fyllning med bandmaskin Cat 951 på terrassnivå vid Ekholmen.

Compaction of upper fill by a caterpillar (Cat 951) on the terrace at Ekholmen.



Figur 32. Utfyllning med överbyggnadsmaterial vid Ekholmen.

Subgrade filling at Ekholmen.

mitt, dels intill schaktväggen. Rörtopparna skyddas med betäckningar. Dessutom installeras avväggningsstift i beläggnings inom hela gatubredd. Nollmätning skall ske snarast efter installation.

5.3.1 Åtgärder under schaktning

Provtagning utfördes dels i schaktväggen med ytprovtagare, dels på tre nivåer med enkel vattenvolymer, se Fig 33 och 34. Denna utgörs av en plåt med ett runt hål ($\phi 350$ mm) som placeras på en avplanad horisontal yta. Plåten fixeras vid jorden med hjälp av spik. Därefter grävs jorden inom hålet bort så att en grop med formen av en halvsfär uppstår, se Fig 33. Jorden läggs i hinkar med tättslutande lock. För mätning av volymen hos den uppgrävda jorden täcks gropens botten därefter med en plastfolie och vattenfylls med hjälp av ett graderat mått, se Fig 34. Jordmaterialet vägs därefter så att skrymdensiteten kan beräknas. De upptagna jordproverna undersöktes på laboratoriet bl a med avseende på jordart, densitet och vattenkvot.

5.3.2 Åtgärder under återfyllning

Under återfyllningsarbetet gjordes som tillägg till beskrivningen ovan i kap 5.2 följande noteringar: Ledningsbädden vid de båda mätsektionerna var 0,10 à 0,20 m tjock, kringfyllning av sand fylldes till ca 0,10 m över vattenledningens hjässa och utfördes med sluttning mot dagvattenledningen.

Av Fig 29 och 30 framgår att den resterande fyllningen delvis består av stora och små klumpar av torrskorpelera. Klumparnas storlek uppgår till maximalt ca 0,4 m. Den resterande fyllningen packades med tryckning 3 à 4 gånger med grävskopan, fig 27-28. Fig 31 visar den bandtraktor som packade fyllningen på terrassnivån.

Efter det att återfyllningen var utförd till terrassnivån utfördes jordprovtagning och densitetsbestämning i resterande fyllning genom att schakta ned till två



Figur 33. Provtagning med vattenvolymeter. Uppgrävning av jordprov.

Digging out the soil sample.



Figur 34. Provtagning med vattenvolymeter. Mätning av jordvolym.

Determination of the volume.

nivåer 0,2-0,8 m under terrassytan. Undersökningen utfördes med s k enkel vattenvolymeter. Även dessa jordprover undersöktes på laboratoriet med avseende på jordart, densitet och vattenkvot.

5.3.3 Åtgärder efter återfyllning

Efter återfyllning och terrassering uppfylldes gatans förstärknings- och bärlager (ej BG), se Fig 32. På grund av tjälning kunde packning av överbyggnaden inte utföras direkt.

För att kunna installera utrustning för den följande sättningsmätningen utfördes bortschaktning av överbyggnadsmaterialet ned till terrassnivån vid de två mätsektionerna. Vid schaktningen framgick att överbyggnaden var tjälad.

Sättningsmätningar utfördes på jordskruvar med magnetavkännare. Nedan beskrivs denna metod mer i detalj:

Metoden är en vidareutveckling av den på geotekniska institutet utvecklade principen att med tungelement känna av lägesförändringar hos magnetringar placerade utvändigt på t ex inklinometerrör. Vidareutvecklingen är utförd vid institutionen för Jord- och bergmekanik vid tekniska högskolan i Stockholm.

Utrustningen bestod av:

1. Mätrör ($\phi 32$ mm utvändigt) av PVC-plast försett med en spets (normalt filterspets). Mätrören är 3 m långa och skarvas med en speciell skarvhylsa.
2. Jordskruvar med en yttre diameter av $\phi 145$ mm. I skruvens rördel är en 15 mm hög magnetring infäst.
3. Neddrivningsrör $\phi 42$ mm utvändigt med svängel.
4. Avläsningsinstrument (magnetavkännare).

Utrustningen visas också på Fig 35-37.



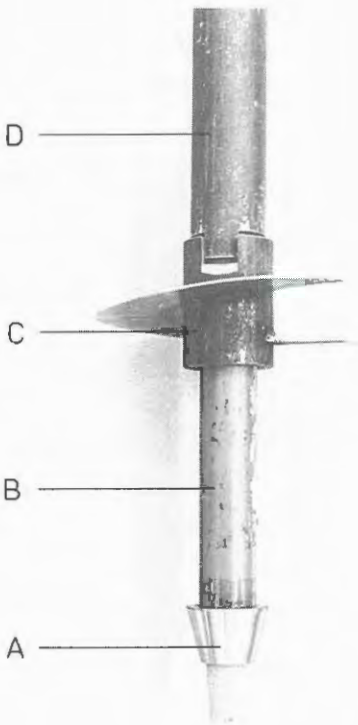
Figur 35. Instrument för magnet-
avkänning.

Equipment for settlement
measurements by levelling
magnetic rings.



Figur 36. Jordskruv med magnetring
i den nedre delen.

Screw with magnetic ring
at the bottom.



Figur 37. Installationsutrustning för jordskruvar
med magnetring.

A = spets, B = mätrör av $\phi 32$ mm PVC-plast,
C = jordskruv med magnetring, D = neddriv-
rör.

Equipment for installation of screws with
magnetic rings.

A = point, B = guiding tube of $\phi 32$ mm PVC,
C = screw with magnetic ring, D = driving
tube.

De jordmaterial som denna utrustning skall användas i måste vara stenfria och huvudsakligen bestå av kohe-sionsjord.

Installationen tillgår så att mätröret, försett med spets, skruvas ned i jorden med en neddrivningsskruv (kan vara en magnetskruv) som vrids runt med hjälp av neddrivningsröret. Ett nyckelgrepp i neddrivningsrörets nedre ände överför vridmomentet till neddrivningsskruven.

När spetsen är nedskruvad till önskad nivå dras neddrivningsröret upp och en ny sättningsgivare (magnetskruv) träs över mätröret och skruvas ned till önskad nivå. Detta upprepas tills man placerat sättningsgivare på alla nivåer där sättning (eller hävning) skall mätas. Jordskruvarna är fria från mätröret och följer därmed jordens rörelse.

Plaströret kapas därefter på lämplig nivå och avvägs och magnetavkännaren appliceras på rörtoppen. Därefter nedsänks en mätkropp med tungelementet till botten av mätröret. Mätkroppen, som är fästad i ett måttband, avger en signal när den dras upp och passerar magnetringen. På detta sätt kan magnetringens nivå bestämmas med en noggrannhet av ca ± 1 mm. Eftersom magnetringen är 15 mm hög utförs normalt avläsningen vid ringens underkant.

Efter det att uppschaktning skett ned till terrassen installerades magnetskruvar enligt ovannämnda beskrivning.

Installationen utfördes i följande punkter och nivåer (från terrassytan räknat):

Punkt	Skruv	Mått under terrassytan m	Nivåer
0/062,7 V0,06 m	A	0	+31,27 (terrass)
"-"	B	0,41	+30,86
"-"	C	0,81	+30,46
"-"	D	0,90	+30,37
0/061,9 H1,16 m	E	0	+31,27 (terrass)
"-"	F	0,40	+30,87
0/110 V0,05 m	A	0	+30,46 (terrass)
"-"	B	0,41	+30,05
"-"	C	0,68	+29,78
"-"	D	0,86	+29,60
0/110 H1,12 m	E	0	+30,44 (terrass)
"-"	F	0,41	+30,03
"-"	G	0,77	+29,67

Efter installationen återfylldes överbyggnadsmaterialet och rören kapades på lämpliga nivåer och avvägdes. Därefter utfördes nollmätning av samtliga jordskruvar.

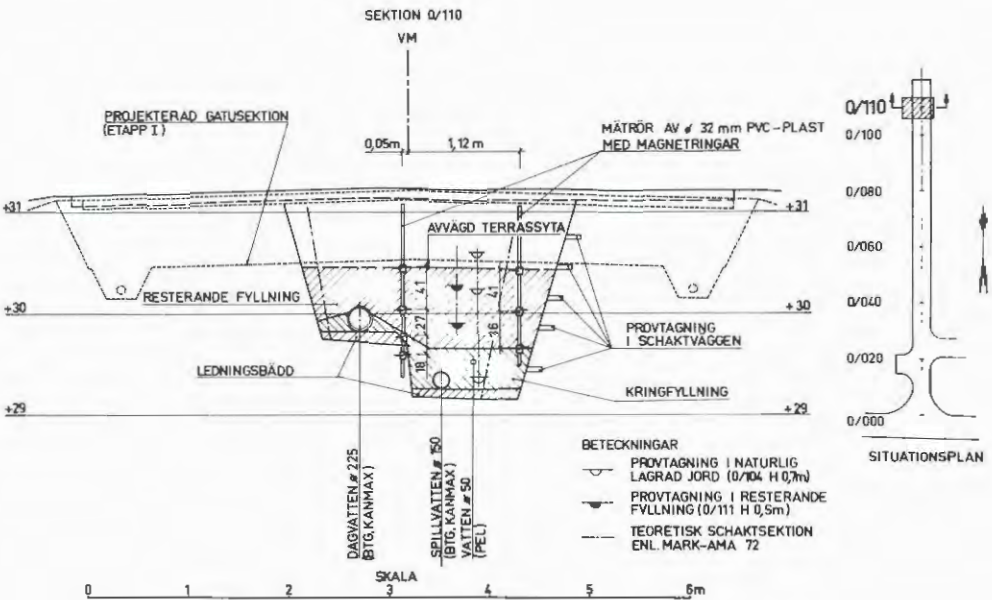
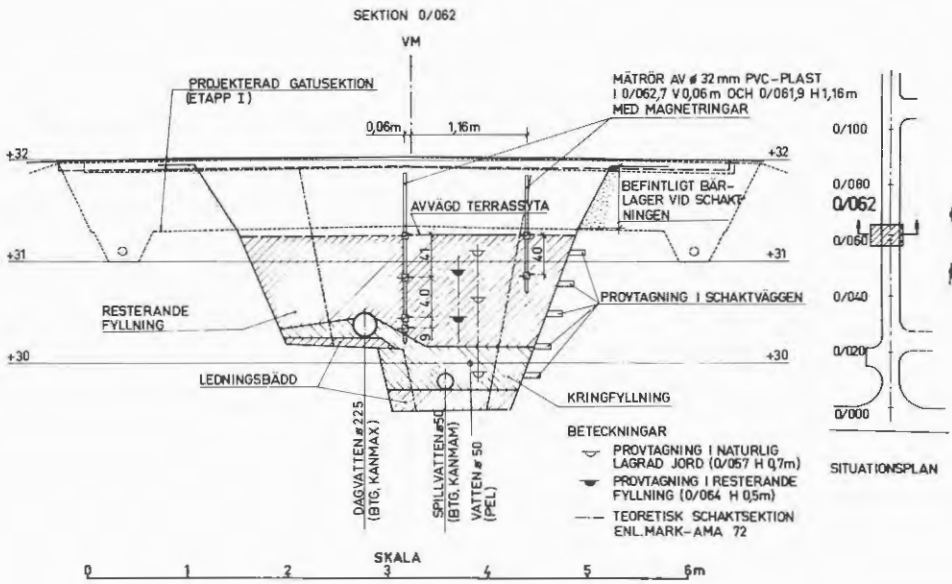
Packning av överbyggnaden utfördes därefter med 3,5 ton vibrovält (Dynapac CG 31) i 6-8 överfarter över hela gatan.

Omedelbart efter att BG-beläggningen var utförd installerades avvagningsstift i beläggningen i sex sektioner intill de med jordskruvar utrustade sektionerna nämligen: 0/059, 0/062, 0/065 och 0/107, 0/110, 0/113. Avvagningsstiften placerades så att de totala sättningsarna både över och utanför ledningsgraven kunde observeras, jfr Fig 41 och 43.

5.4 Undersökningsresultat

5.4.1 Resultat av inmätningar

Fig 38 visar schaktens och gatubyggnadens utformning i de båda mätsektionerna, 0/062 och 0/110. De heldragna linjerna i figuren visar resultaten av avvägningar och



Figur 38. Schakt- och inmätningssktioner vid Ekholmen.

Cross sections through the excavations at Ekholmen.

SEKTION NIVÅ	JORDARTS- BENÄMNING	SKRYM- DENSITET (t/m ³)	TORR- DENSITET (t/m ³)	VATTEN- KVOT (%)	KONFLYT- GRÄNS (%)	SKJUVHÄLLF.- HET, KONPROV (kPa)	ANM
<u>YTPROVTAGARE I LEDNINGSGRAVENS SCHAKTVÄGG:</u>							
0/063 ±H1,5 m	Provt.dat 76-11-15						
+31,08	Gråbrun lera, tunna mjåla- skikt, enst. gruskorn, rostfläckig, rottrådar	1,92	1,43	34	76	(160)	Håligheter. Stor spridning i kon- intryck
+30,79	Gråbrun lera, mjåla-skikt, enst. gruskorn, rostfläckig	1,97	1,53	29	52	(142)	Stor spridning i konintryck
+30,49	Gråbrun varvig lera, mjåla- skikt, enst. gruskorn, rostfläckig	1,95	1,50	30	47	(>160)	---
+30,17	Gråbrun varvig lera, mjåla-o- moskikt, enstaka gruskorn, rost- fläckig	1,95	1,43	36	54	127	
+29,89	Gråbrun varvig lera, enstaka gruskorn, rostfläckig	1,84	1,36	35	57	94	
<u>VATTENVOLYMETER I NATURLIG LAGRAD JORD</u>							
0/057 H0,7 m	provt.dat 76-11-15						
+31,12	Gråbrun lera, mjåla-skikt, rostfläckig, rottrådar	2,04	1,60	27	52	-	
+30,66	Gråbrun diffust varvig lera, tunna mjåla-skikt rostfläckig, rottrådar	1,89	1,39	36	57	-	
+29,92	Gråbrun diffust varvig lera, enst. stenar, roströr, rot- trådar	2,00	1,47	36	54	-	
<u>VATTENVOLYMETER I ÅTERFYLNING:</u>							
0/064 H0,5 m	provt.dat 76-11-23						
+30,93	Gråbrun lera, rostfläckig, rottrådar	1,58	1,21	30	52	-	
+30,47	Gråbrun lera, rostfläckig, rottrådar	1,63	1,24	32	50	-	

Figur 39. Jordprovtabell, sektion 0/062 vid Ekholmen.

Table on soil characteristics, section 0/062
at Ekholmen.

SEKTION NIVÅ	JORDARTS- BENÄMNING	SKRYM- DENSITET (t/m ³)	TORR- DENSITET (t/m ³)	VATTEN- KVOT (%)	KONFLYT- GRÄNS (%)	SKJUVHÄLLF.- HET, KONPROV (kPa)	ANM
<u>YTPROVTAGARE I LEDNINGSGRAVENS SCHAKTVÄGG:</u>							
0/110 +H1,5 m	Prov.dat 76-11-10						
+30,76	Gråbrun lera, rostfläckig, rotträdar	1,85	1,38	34	83	>160	
+30,46	Gråbrun lera, rostfläckig, rotträdar	1,83	1,37	34	77	>160	
+30,16	Gråbrun varvig lera, rostfläck- ig, rotträdar	1,88	1,41	33	65	>160	
+29,86	Gråbrun varvig lera, enstaka sand o gruskorn, rostfläckig, rotträdar	1,84	1,39	32	58	>160	
+29,46	Gråbrun varvig lera, enstaka gruskorn, rost- fläckig, rot- trädar	1,81	1,30	39	65	160	
<u>VATTENVOLYMETER I NATURLIG LAGRAD JORD</u>							
0/104 H0,7 m	Provt.dat. 76-11-10						
+30,60	Gråbrun lera, rostfläckig, rotträdar	1,59	1,18	(36) 34	80	-	Vattenkvotsvärden inom parentes av- ser delprov
+30,24	Gråbrun varvig lera, mjåla- skikt, rost- fläckig, rost- rör	1,87	1,41	(34) 32	64	-	""
+29,38	Gråbrun varvig lera, mjåla- skikt, roströr	1,75	1,20	(41) 46	60	-	""
<u>VATTENVOLYMETER I ÅTERFYLNINGEN:</u>							
0/111 H0,5 m	Provt.dat 76-11-23						
+30,28	Gråbrun lera, rostfläckig, rotträdar	1,59	1,24	28	50	-	
+29,91	Gråbrun något grusig, sandig lera, växt- delar	2,07	1,61	29	38	-	

Figur 40. Jordprovtabell, sektion 0/110 vid Ekholmen.

Table on soil characteristics, section 0/110
at Ekholmen.

inmätningar. Av dessa framgår att den verkliga terrassnivån låg ca 80 mm lägre än den projekterade. Vidare kan iakttas att beläggningens överyta i sektion 0/110 inte överensstämmer med projekterad, speciellt med avseende på lutningen i tvärled. Man kan även konstatera att schaktbredden är stor jämfört med den teoretiska. I figuren har även markerats de olika provtagningsnivåerna samt de installerade jordskruvarnas lägen.

5.4.2 Laboratorieundersökningar

Resultaten av laboratorieundersökningen visar, som framgår av Fig 39 och 40, att den naturligt lagrade jorden vid de båda mätsektionerna består av fast lera av torrskorpekaraktär. Vid sektion 0/062 innehåller leran mjälaskikt samt enstaka gruskorn vilket endast förekommer på få nivåer vid 0/110. Detta avspeglar sig även i skrymdensiteterna, som är något högre vid 0/062 än vid 0/110.

Vattenkvoterna är tämligen lika vid de båda sektionerna och varierar mellan 30 och 35%. Några enstaka värden under (27%) och över (46%) finns dock. Beträffande konflytgränsen kan sägas att den ligger betydligt över vattenkvoten, vilket visar att jorden utgörs av torrskorpa. I huvudsak varierar konflytgränsen mellan 50 och 70% fränsett vissa värden upp mot 80% i de övre jordlagren. Undersökningarna i den resterande fyllningen visar att vattenkvoter och i stort även konflytgränser överensstämmer med dem som uppmätts i den naturligt lagrade jorden.

Densiteten i den resterande fyllningen är normalt lägre än i den naturligt lagrade jorden. Sålunda är skrymdensiteten i medeltal $1,87 \text{ t/m}^3$ i den naturligt lagrade jorden och $1,60 \text{ t/m}^3$ i fyllningen. Denna minskning innebär en extra porvolym i jorden på ca 12% av den ursprungliga jordens volym. I ett prov på fyllningen, 0/111 H0,7, +29,91, har dock uppmätts densiteten $2,07 \text{ t/m}^3$ vilket således avviker från övriga uppmätta värden. Detta bedöms bero på att provet tagits i en större lerklump i återfyllningen.

5.4.3 Sättningsobservationer

Observationerna har utförts under tiden 76-11-26 till 78-06-05. Avvägningen av stiften i beläggningen påbörjades först 76-12-06. Detta inenbär att två tjällossningar ingår i mätperioden.

Sättningsobservationerna har bestått i precisionsavvägning av stiften i beläggningen och uppmätning av jordskruvarnas lägesförändring på olika nivåer i den resterande fyllningen, jfr avsnitt 5.3.3.

Snarast efter det att jordskruvarna installerats och man bedömt att tjälen tillfälligt gått ur överbyggnaden utfördes, som tidigare nämnts i avsnitt 5.3.3, packning med 3,5 ton vibrovält varefter beläggningen utfördes med ytterligare vältning.

Efter beläggningens utförande och installation av avvägningsstiften påbörjades byggnation av ett daghem öster om gatan. Byggnationen har därefter pågått under observationstiden. Transporter, vilka tidvis varit tunga, har även pågått, framför allt vid sektion 0/062. Vid 0/110 har fram till 77-06-10 ingen större trafik förekommit men området har då delvis använts som upplag för byggnadsmaterial (företrädesvis isoleringsmaterial av kork).

Några mätningar av temperatur och nederbörd under observationstiden har inte utförts vid undersökningsområdet. Av uppgifter från Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) framgår dock att luftens medeltemperatur i Linköping har varit under $\pm 0^{\circ}\text{C}$ mellan perioden ca 15 december till i början av mars 1976-77. Detta förhållande samt att gatan har röjts från snö har sannolikt inneburit att tjälen trängt ned i gatans överbyggnad och viss del av den resterande fyllningen.

Resultaten av sättningsobservationerna framgår av Fig 41 och 42 för sektion 0/062 och av Fig 43 och 44 för sektion 0/110.

Sättningarnas storlek

Avvägningsstift: (Fig 41 och 43)

De största sättningarna har, enligt stiftavvägningen, inträffat där den resterande fyllningen är som störst, dvs vid stiften 5 och 6, samt minskar mot ledningsgravens schaktväggar och mot gatans kanter. Storleken av sättningarna är olika i de två mätområdena. De största sättningarna uppgick vid sektion 0/062 till ca 110 mm (stiften 5 och 6 i 0/059 resp 0/062) och vid sektion 0/110 till drygt 40 mm (stift 5 i 0/113) fram till 77-06-10. Under tiden fram till 78-06-05 ökade sättningarna i sektion 0/062 till maximalt ca 150 mm medan de i sektion 0/110 ökade till maximalt ca 65 mm. Dessa resultat kan ej direkt jämföras med mätningen på jordskruvarna eftersom dessa påbörjades vid en senare tidpunkt då sättningen över ledningen redan blivit ca 30 mm. De uppmätta sättningarna motsvarar 14% respektive 8% av den resterande fyllningens tjocklek.

Magnetskruvar: (Fig 42 och 44)

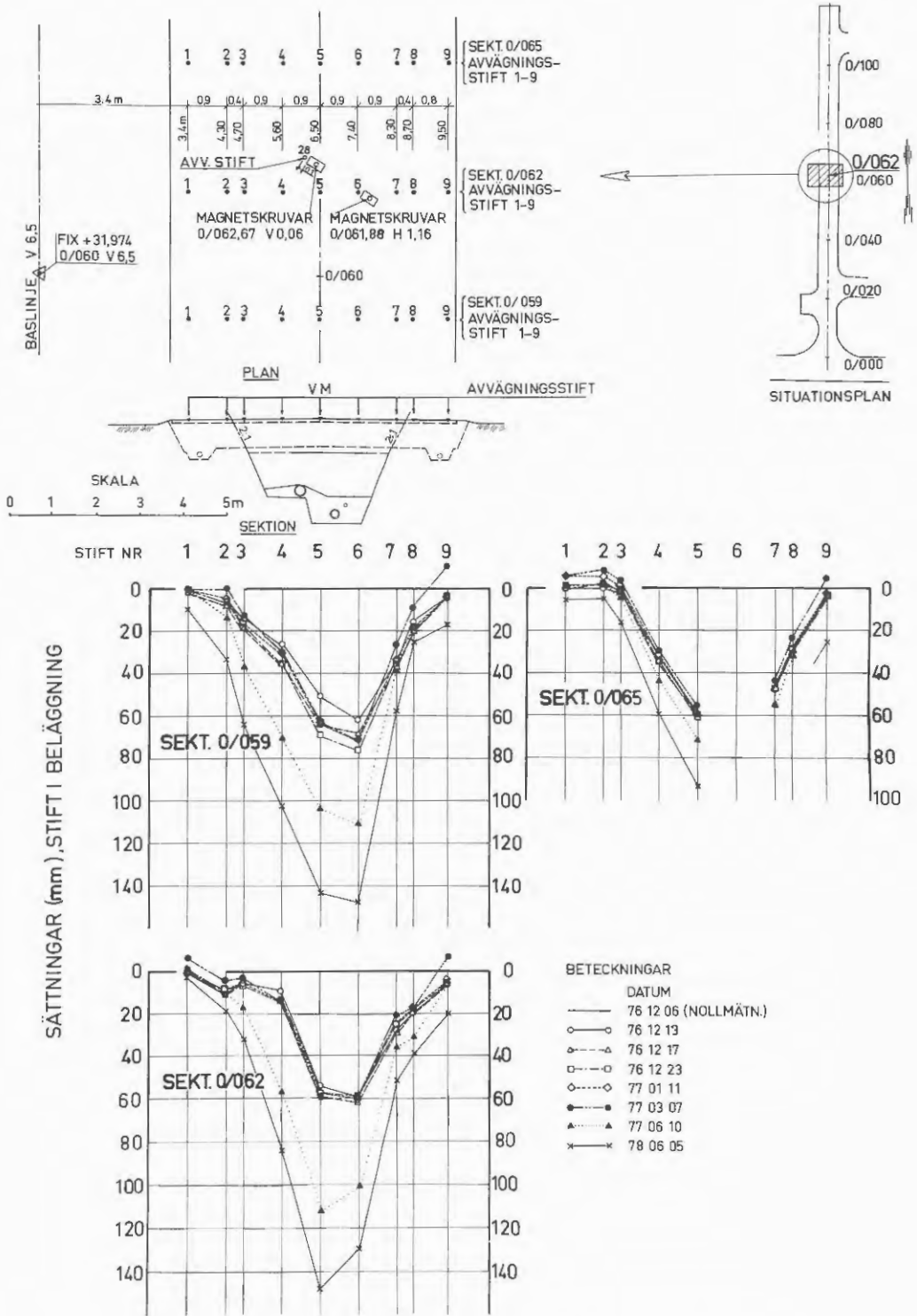
Mätningen av jordskruvarnas rörelser visar att sättningarna var störst överst i den resterande fyllningen och avtar nedåt mot kringfyllningen. Även här har de största sättningarna fram till 77-06-10 uppmätts vid sektion 0/062, 90 och 100 mm i skruv E respektive skruv A, båda placerade i nivå med terrassytan. Vid sektion 0/110 är de största sättningarna ca 40 mm i skruv E. Under tiden fram till 78-06-05 ökade sättningarna i terrassytan (skruv E och A) till 105 respektive 120 mm i sektion 0/062. I sektion 0/110 ökade sättningen på skruv E till ca 50 mm under samma period. Av de skruvar som installerats vid kringfyllningen var det endast skruv D i sektion 0/062 som visade någon sättning, ca 20 mm. Skruvar placerade i ledningsgravens centrum (A och B) och placerade intill schaktväggen (E och F) visade i huvudsak samma rörelser. I sektion 0/062 visar dock skruv B en större sättning än skruv F (65 mm respektive 33 mm).

Att sättningen var störst överst i fyllningen är naturligt. Däremot är det av intresse att konstatera att komprimeringen, dvs jordens volymminskning, ej synes variera på något regelbundet sätt mot djupet under gatan.

Av följande sammanställning framgår komprimeringen i de jordskikt som finns mellan magnetskruvarna fram till 77-06-10. Den uppmätta komprimeringen vid den ofrafikerade ytan (sektion 0/110) är mellan 4 och 9% av tjockleken hos den resterande fyllningen medan den vid den yta som utsatts för byggnadstrafik (sektion 0/062) är 8-16%.

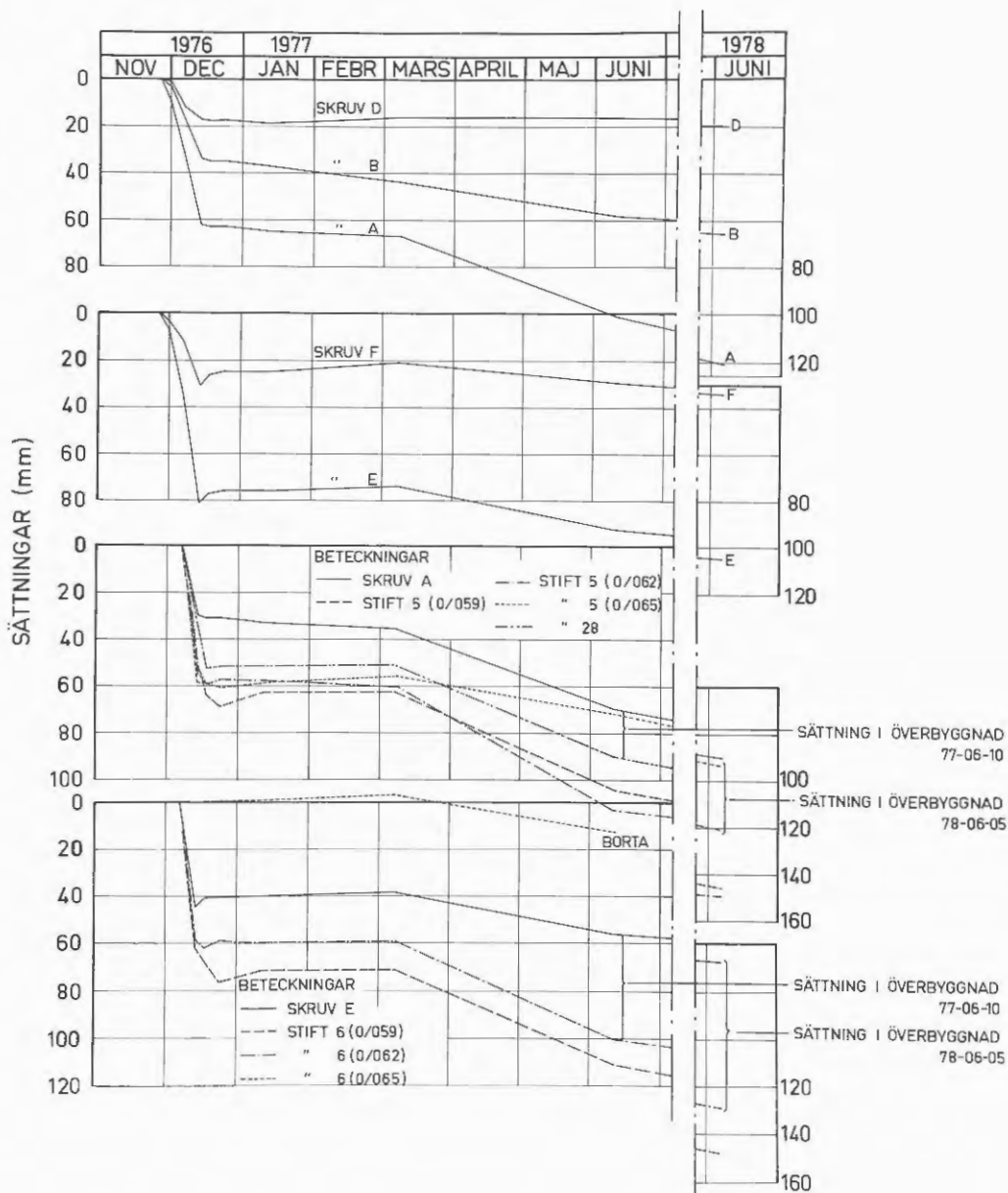
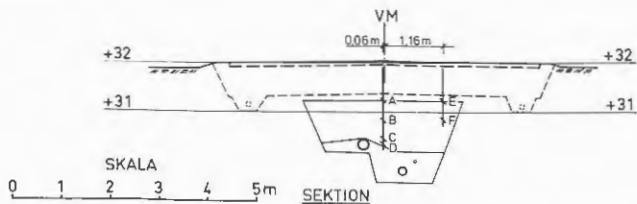
Sekt	Skruv	Avstånd mellan skruvarna (mm)	Komprimering av lagret mellan skruvarna (mm)	(%)
0/062	A	410	43	10,5
	B			
	D	490	42	8,6
0/062	E	400	63	15,8
	F			
0/110	A	410	17	4,2
	B	270	22	8,2
	C			
0/110	E	410	22	5,4
	F	360	20	5,6
	G			

För att få en uppfattning om hur stor del av sättningarna i beläggningsytan, som beror av överbyggnadens komprimering har rörelsen hos skruvarna på terrassnivån (A och E) jämförts med rörelsen hos intilliggande avvägningsstift. Denna jämförelse framgår av de två nedre diagrammen i Fig 42 och 44. Här har datum för skruvarnas nollmätning ändrats till att överensstämma med stiftens. Under tiden mellan skruvarnas och stiftens nollmätningar utfördes gatans beläggning. De två nedre



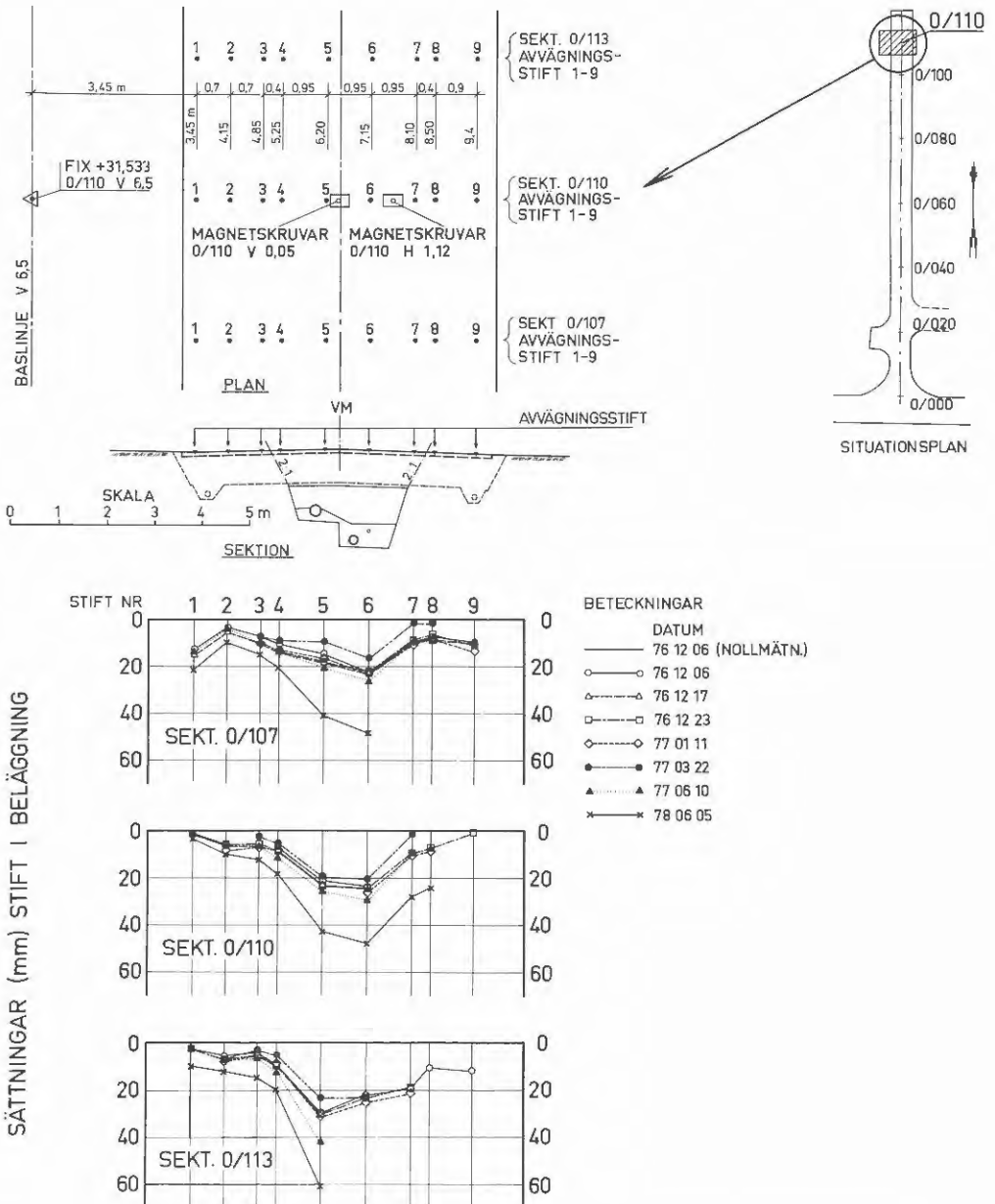
Figur 41. Installationsplan och sättningsdiagram för avvägningsstift, sektion 0/062 vid Ekholmen.

Settlements of the pavement in section 0/062 at Ekholmen.



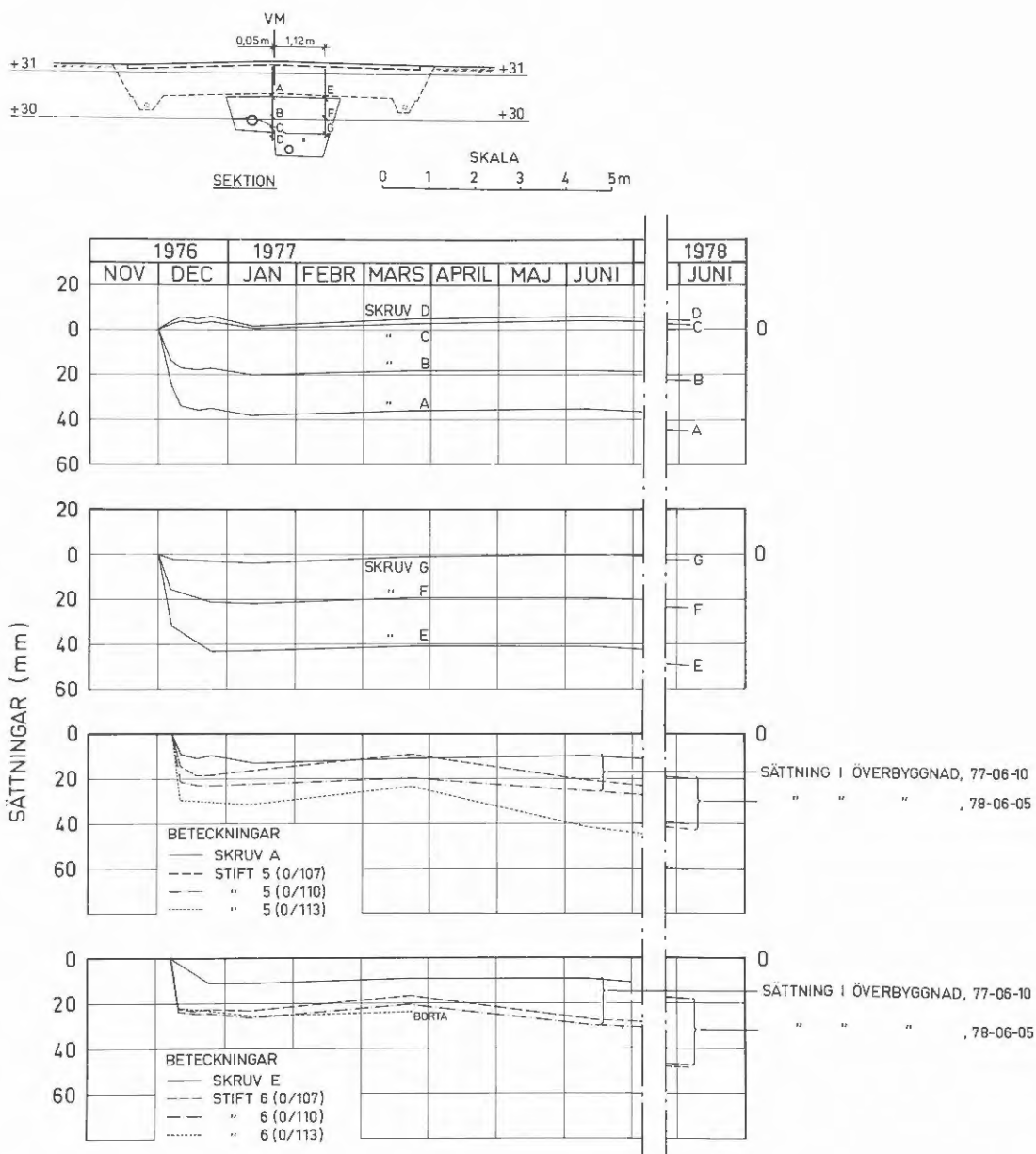
Figur 42. Sättningsdiagram för jordskruvar med magnetringar och vissa avvägningsstift, sektion 0/062 vid Ekholmen. Stiftens placering, se Fig 41.

Time-settlement curves at various depths in section 0/062 at Ekholmen.



Figur 43. Installationsplan och sättningsdiagram för avvagningsstift, sektion 0/110 vid Ekholmen.

Settlements of the pavement in section 0/110 at Ekholmen.



Figur 44. Sättningsdiagram för jordskruvar och magnetringar och vissa avvägningsstift, sektion 0/110 vid Ekholmen. Stiftens placering, se Fig 43.

Time-settlement curves at various depths in section 0/110 at Ekholmen.

diagrammen visar sålunda de totala sättningarna efter beläggningens utförande.

I sektion 0/062 kan en direkt jämförelse göras mellan skruv A och stift 28 samt skruv E och stift 6. Av denna jämförelse framgår att sättningarna i gatans överbyggnad utgör 30 till 60 mm.

I sektion 0/110, där motsvarande jämförelse kan göras, framgår att sättningarna i överbyggnaden utgör 25 till 30 mm.

Tidsförlopp

Beträffande tidsförloppet framgår av Fig 42 och 44 att en stor del av sättningarna inträffade kort tid, 2 à 3 veckor, efter återfyllningen, enligt såväl jordskruvar som avvägningsstift. Efter denna tid skedde (under vintern) små rörelser, sättning eller hävning. Vid mätning i juni 1977 uppmättes dock en ökning av sättningen på 20-50 mm vid sektion 0/062. Vid sektion 0/110 visar endast vissa avvägningsstift över ledningsgraven en ökad sättning, upp till ca 15 mm. När sättningsökningen under perioden 77-06-10--78-06-05 inträffat kan tyvärr ej utläsas av resultaten eftersom såväl ökad trafik som en vinter-vårperiod kan ha påverkat resultaten.

6 ANALYS AV UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR

6.1 Sättningarnas storlek

De utförda undersökningarna visar att man över ledningsgravar som är 2-5 m djupa kan få sättningar på upp till 250 mm. Detta motsvarar en sammanpressning på 5-15% av den resterande fyllningens tjocklek, trots att viss packning utförts. Huvuddelen av dessa sättningar beror på att jorden i den resterande fyllningen, som i dessa fall utgjorts av silt och torrskorpelera, övergår från en mängd jordklumpar till en homogen massa. Denna homogenisering sker tydligen ej i tillräcklig omfattning vid använt packningsförfarande. Mätningarna visade vidare att jorden i stort sett återtar den densitet som den haft i naturlig lagring.

Komprimeringen av jorden (homogeniseringen) antas i huvudsak bero på att klumparna i fyllningen sönderdelas och fyller ut hålrummen till följd av vattenuppsugning och bearbetning av trafik, jfr resultatet från Ekholmen. De inträffade sättningarna medför att terrassytan får en lutning in mot gatans mitt istället för mot gatans kanter där dränering läggs. Detta medför att vatten förs ned i den resterande fyllningen och ökar eller påskyndar sättningarna. Speciellt vid siltig jord kan sättningarna komma att öka till följd av att tillströmmande vatten för med sig jordpartiklar ner i kringfyllningen och ledningsbädden. Risken för sådan erosion är störst när ledningsbädden utgörs av grovkornig jord, t ex makadam.

Mätningarna i Ekholmen visade också att man erhåller vissa sättningar (25-60 mm) även i gatans överbyggnad över ledningsgraven, trots packning med vibrovält. Detta kan antas bero på följande faktorer:

- Större trafikbelastning i gatans mitt.
- Sämre packning av överbyggnaden över ledningsgraven till följd av fjädrande underlag.
- Förstärkningslagret tränger delvis ned mellan lerklumparna i den resterande fyllningen.

6.2 Sättningarnas fördelning i sidled

Stiftavvägningarna vid Ekholmen visar att sättningar inträffade över i stort sett hela gatans bredd, men var störst där schakten var som djupast. Vid sidan av ledningsgraven var sättningarna dock små, ca 10-20 mm.

Sättningsmätningen med jordskruvar visade ingen skillnad mellan jordens sammantryckning i schaktens mitt eller längs dess kant. Detta innebär att man, åtminstone vid dessa förhållandevis breda schakter, ej har någon effekt av upphängning på schaktens kanter.

Även vid Sjögestad och Vårgård är sammantryckningen (slutlig densitet), enligt utförd provtagning, lika i schaktens mitt och längs dess kanter.

6.3 Sammantryckningens fördelning i djupled

Enligt sättningsmätningarna på jordskruvar i Ekholmen varierar sammantryckningen ej på något regelbundet sätt med djupet. Teoretiskt kan man förvänta en ökning av komprimeringen mot djupet till följd av ett ökande överlagringstryck. Samtidigt kan man förvänta en minskad effekt till följd av trafiklast. Det förefaller således som om en stor del av sättningarna (homogeniseringen) sker utan inverkan av trafik eller yttre belastning, jfr förhållandena i Sturefors. Detta motsägs delvis av densitetsmätningarna i Vårgård och Sjögestad som visar att densiteten är något högre i de övre skikten än i de nedre. Delvis kan denna högre densitet bero på att man vid den resterande fyllningen lägger den fasta jorden (torrskorpan) överst för att få en farbar terrassyta. Den högre densiteten nära terrassytan behöver således ej vara orsakad av t ex trafik. Delvis kan den högre densiteten också förklaras av att de översta jordskikten utsatts för tjälning och tining under åtminstone en vinterperiod.

6.4 Sättningsmätningarnas tidsförlopp

Sättningsmätningarna vid Ekholmen visade att en stor del av jordens sammantryckning sker kort tid efter återfyllningen men även till stor del uppkommer i samband med tjällossning-snösmältning. Det är därför troligt att processen tjälning-tining påskyndar jordens homogenisering och därmed sättningsförloppet. Även den ökade vattentillrinningen under snösmältningen verkar i samma riktning. Att man vid sektion 0/110 i Ekholmen ej fick någon ökning av sättningarna i samband med tjällossningen förklaras av att man där haft upplag av bl a isoleringsmaterial till den påbörjade bebyggelsen.

7 FÖREBYGGANDE ÅTGÄRDER

7.1 Allmänt

I förutsättningarna vid hus- eller industriexploatering ingår att genomförandet ej kan ske om inte gatorna inom aktuellt område förses med en enkel beläggning, BG, i ett första utbyggnadsskede. En av orsakerna till detta är att det vid regniga tidsperioder har bedömts som omöjligt att klara ett grusunderhåll och avvakta med utförandet av beläggning tills huvuddelen av sättningsarna i underliggande fyllning skett. Vid ett utförande med endast bärlagergrus som körbaneyta måste man även beakta att, med den tunga trafik som förekommer vid exploateringen, lera och annat finmaterial blandas in i gruset så att detta till stor del måste ersättas före beläggning. En annan orsak till den tidiga beläggningen är de boendes krav på en acceptabel gatumiljö redan från inflyttningen.

En förutsättning för denna undersökning och för nedan skisserade möjliga förebyggande åtgärder vid ledningsbyggande är att material enligt grupp 3b i Mark AMA 72 tabell C/1 (silt, halvfast till mycket fast lera) används som resterande fyllning i ledningsgraven.

Man kan gå tillväga på olika sätt för att minska eller eliminera de extrakostnader, som orsakas av sättningar i ledningsgravar. Åtgärderna kan delas upp i två grupper, nämligen:

- A. Metoder att påverka och/eller förändra återfyllningen så att sättningarna reduceras eller elimineras, se avsnitt 7.2.
- B. Metoder eller åtgärder som innebär ändrade regler för planförfattare och projektörer, se avsnitt 7.3.

7.2 Åtgärder som påverkar och/eller förändrar den resterande fyllningen

7.2.1 Packning

Att utföra det packningsarbete, som föreskrivs i Mark AMA 72, innebär sådana extrakostnader att det är billigare att utföra en enklare packning än vad som föreskrivs samt att därefter justera för eventuella sättningar som uppkommer. Dessutom är det ej troligt att en packning enligt föreskrifterna ger en tillräcklig homogenisering av fyllningen varför man ändå får räkna med viss justering.

Av de undersökningar, som redovisas i denna rapport, framgår att fyllningsmaterialet i regel innehåller större eller mindre klumpar av hård eller torr jord, se Fig 23, 27-30. Dessutom kan delvis tjälad jord förekomma vid arbeten vintertid.

För att åstadkomma en homogenisering av fyllningsjorden redan i fyllningsskedet, bör någon form av bearbetning eller knådning utföras.

Olika typer av packningsredskap kan användas. I det följande diskuteras tänkbara redskap.

- Fårfotsvält eller "valsvält" med kammar på valsarna. (Eventuellt vibrerande)
- Jordstamp
- Gummihjulsvält
- "Trampmaskin"

Dessa redskap utom det sistnämnda finns tillgängliga i dag. I regel är de dock av sådan storlek och utformning att de ej är lämpade att använda för packningsarbeten i ledningsgravar. Redskapen bör därför ges sådana dimensioner att de kan användas frigående i ledningsgravar.

Alternativt kan redskapen dras efter bandtraktor (kräver relativt bred ledningsgrav) eller monteras på en grävskoppearm där kraften och tyngden hos grävmaskinen kan utnyttjas för belastning.

I detta sammanhang måste även beaktas att redskapen bör vara så utformade att bearbetning av jorden kan ske närmare ledningarnas hjässa än vad som anges i Mark AMA 72, Tabell 5, 0,25-1,0 m.

En effektiv bearbetning av fyllningsjorden enligt ovan kan förväntas väsentligt minska de sättningar som normalt uppkommer. Vissa sättningar, som är beroende av att dränering (konsolidering) sker, kommer dock att kvarstå, t ex sättningar till följd av tjälning-tining. Erforderlig dräneringseffekt går normalt ej att åstadkomma genom packning eller knådning av ler- eller siltjord.

I samband med packningen kan det bli nödvändigt att vattenbegjuta fyllningsjorden. Som exempel på detta kan nämnas fallet vid Sturefors där återfyllningsjorden var torr. Efter den snörika vintern, som gav mycket vatten i ledningsgraven vid snösmältningen erhöles stora sättningar i ledningsgraven.

7.2.2 Stabilisering med kalk

I kohesionär jord, t ex lera, kan betydliga förändringar åstadkommas genom inblandning av t ex kalk. Vid inblandningen erhålls en strukturuomvandling av jorden genom s k koagulering. Effekten av denna blir att jorden förvandlas till något som påminner om en finkornig friktionsjord varigenom den ovan nämnda homogeniseringen delvis förhindras. En förutsättning för ett gott resultat av en sådan inblandning är dock att kalken inblandas effektivt. Inblandningen bör ske samtidigt som leran bearbetas med något typ av redskap, t ex jordfräs. Möjligen kan inblandningen ske i samband med att packningsarbetet utförs. Utförda undersökningar visar (Wäre 1974) att kalkmängden bör vara ca 5% räknat på jordens torr-vikt.

7.3 Åtgärder avseende ändrade projekteringsregler

7.3.1 Planskedet

Att arbeta fram och fastställa planer för exploateringsverksamhet är ofta tidskrävande bl a på grund av den utdragna beslutsprocessen före fastställande av byggnadsplaner. Detta innebär i regel att genomförandet av planerna kommer att forceras sedan beslut väl fattats. En konsekvens av detta blir att byggandet av gator sker omedelbart efter ledningsarbetenas utförande och att någon liggtid för fyllningen ej erhålls.

En stor del av sättningarna i ledningsgravar sker, som ovan visats, kort tid efter det att återfyllningen färdigställts. Det vore därför av värde om tidplanerna kunde anpassas till detta förhållande. Om ledningsarbetena utförs t ex ett halvt år före gatubyggandet torde sättningsskadorna kunna reduceras betydligt.

Det ideala vid plangenomförandets första del torde vara att ledningsarbeten och gatuarbeten till underkant beläggning (BG) utförs under hösten och att efterföljande gatuarbete fullföljs påföljande vår med justering av bärlagergruset och beläggningsarbeten (BG) under april-maj. Med ett sådant förfarande erhålls tjällossning i fyllningsmassorna samt en snösmältningsperiod med vattenavrinning i jorden. Efter BG:s utförande kan hus- eller industribyggande påbörjas under maj-juni.

Kostnaden för en sådan förinvestering på ledningsnätet kan beräknas med utgångspunkt från att anläggningskostnaden för spill-, dagvatten- och vattenledningar i normalutförande är ca 800 kr/m ledningsgrav. Med en ränta av 12% och ledningsbyggande ett halvt år före normal tid uppgår förinvesteringskostnaderna till ca 48 kr/m ledningsgrav. Om gatuarbeten exklusive BG utförs i samband med ledningsarbetena kan motsvarande kostnad beräknas till ca 60 kr/m ledningsgrav med gata. Denna kostnad är endast ca hälften av kostnaden för de reparationer som orsakas av sättningarna i ledningsgraven.

Ett alternativ till en förinvestering är att utforma byggnadsplanerna så att huvuddelen av ledningsstråken placeras inom grönområden - parkmark o dyl. Färdigställandet av dessa områden sker ju normalt lång tid efter ledningsarbetena och dessutom utgör kvarvarande sättningar normalt ej någon olägenhet i dessa områden.

7.3.2 Detaljskedet

Ett annat förslag, som framkommit under utredningens gång och som delvis tillämpas, är att utföra gatan med en viss överhöjning, t ex ökad sidolutning som svarar mot förväntade sättningar. Svårigheten med detta förfarande är att det ofta är svårt att i förväg bedöma hur stora sättningarna kommer att bli i ledningsgraven och att sättningarna normalt blir ojämna.

8 FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR

Det fortsatta arbetet bör uppdelas i mindre projekt som vart och ett berör speciella problem i samband med återfyllning av lera och silt i ledningsgravar.

8.1 Studium av uppschaktad leras och silts "packbarhet"

Det är i dag lite känt i vilken mån olika jordar, speciellt olika ler- och siltjordar, låter sig packas (packbarhet) och vilka faktorer som kan förbättra eller försämra denna egenskap. Resultaten av denna förstudie visar ju att de vibrerande redskap som i dag ofta används ej är lämpliga för dessa jordar. Man kan här tänka sig en laboratorieundersökning där man studerar hur ett antal silt- och lerjordar beter sig vid packning med några olika typer av redskap, t ex fallvikt och vibrostamp samt hur egenskaperna efter fullgjord packning varierar. Vid dessa försök kan även t ex effekten av vattenbegjutning eller kalkinblandning studeras, jfr nedan.

8.2 Utveckling av packningsredskap för ledningsgravar

För att utveckla nya eller förbättra befintliga redskap för packning i ledningsgravar bör kontakt etableras med tillverkare av sådana redskap. Med ledning av bl a de resultat, som framkommit vid den ovan föreslagna laboratorieundersökningen, bör det vara möjligt att få fram redskap, som på ett bättre sätt än de i dag vanligen använda kan ge en homogen återfyllning i en ledningsgrav, dvs en resterande fyllning utan nämnvärda luftinneslutningar. Olika lösningar har skisserats i kap 7.

8.3 Utredning om erforderlig fyllningstjocklek över ledningar för olika packningsredskap

De i Mark AMA 72 Tabell 5 angivna värdena på minsta fyllningstjocklek över ledningar innan packning kan ske bör ses över och anpassas till de packningsredskap som kan tänkas komma till användning.

Ingående litteraturstudier avseende tryckspridning i jorden kring jordförlagda ledningar bör utföras. Man kan före dessa studier överväga att installera jordtrycksdosor i olika skikt i återfyllningen vid fullskaleförsök (jfr nedan).

8.4 Effekten av kemisk stabilisering - kalkinblandning

En närmare litteraturstudie avseende stabilisering av lera och silt bör utföras. I samband med studium av lera och silts "packbarhet" (jfr 8.1) bör effekten av kalkinblandning undersökas såväl på laboratoriet som i fullskaleförsök. Laboratorieundersökningen bör omfatta försök avseende kalkens effekt i packad jord när denna utsätts för belastning och vattenbegjutning.

8.5 Fullskaleförsök

I ett kommande projekt bör olika typer av packningsredskap och utförande testas i full skala varvid ett

par ledningssträckor utväljs. Eventuellt kan packningsförsöken utföras i särskilt uppschaktade gropar utan ledningar.

De olika försöken bör omfatta:

- Packning enligt Mark AMA 72 för att få en teknisk-ekonomisk jämförelse.
- Packning på det sätt som i dag är vedertaget, dvs packning genom att en grävskopa trycker på fyllningsjorden.
- Packning i flera skikt med varierande tjocklek och med olika typer av packningsredskap.
- Vattenbegjutning utförs på vissa delar i samband med packning.
- Kalkinblandning i samband med återfyllning och packning.

För att kontrollera de olika metodernas effekt utförs sättningsobservationer och provtagning i fyllningen på ungefär samma sätt som i undersökningen vid Ekholmen. Dessutom kan pressometer och eventuellt skruvplatta användas för kontroll av packningsresultatet.

8.6 Studium av olika planlösningar och förinvesteringar

För att få en uppfattning om hur olika placeringar av ledningsstråk påverkar totalekonomin bör ett antal planer undersökas med avseende på alternativa lösningar. Dessutom kan det vara lämpligt att inom samma planer undersöka hur stora förinvesteringskostnaderna blir vid olika tidpunkter för utförande av ledningsbyggandet.

8.7 Geotekniska undersökningar

En viktig faktor vid projektering av ledningar är att jorden undersöks på sådant sätt att rekommendationer kan ges om hur den uppschaktade jorden skall packas vid återfyllning i ledningsgravar. Detta bör beskrivas i

det geotekniska utlåtandet. I utlåtandet bör även behandlas vad som kommer att inträffa om ingen packning eller en mycket enkel packning utförs. De olika delundersökningar, som beskrivits ovan, bör ligga till grund för utarbetande av anvisningar avseende undersökningar som lämpligen bör utföras i samband med den geotekniska utredningen.

Sådana anvisningar kan omfatta val av fält- och laboratorieundersökningar så att jorden kan klassificeras bl a med avseende på packbarhet. Man kan tänka sig att förutom rutinundersökning utföra packningsförsök och stabiliseringsförsök med kalk.

- BROMS, B & HEINER, A., 1975, Upptining av frusen jord med osläckt kalk och packning av frusen jord. Artikel i Väg- och vattenbyggaren 8-9 1975, Stockholm.
- FAGERSTRÖM, H., 1973, Packningsegenskaper, Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 5, Statens institut för byggnadsforskning, Informationsblad B2:1971, Stockholm.
- FORSBLAD, L., 1963, Jordvibreringsundersökningar, Stockholm.
- FORSBLAD, L., 1966, Fyllning och packning av jord. Bygg, kap 514, AB Byggmästarens förlag, Stockholm.
- FORSBLAD, L., 1967, Packning av jord- och stenfyllningar, Svenska bokförlaget, Stockholm.
- GRANSTRÖM, M. & WELLANDER T., 1975, Kontroll av packad moränleras egenskaper. Tekniska högskolan i Lund, Rapport 66, Lund.
- GRÄVNING I GATA, 1968, Anvisningar för anläggningsarbeten i mark och grundundersökningar med hänsyn till befintliga ledningar m m. Stockholms Gatukontor Handbok nr 12.
- HEINER, A., 1972, Strength and compaction properties of frozen soil. Statens institut för byggnadsforskning, Document D11:1972, Stockholm.
- HÖGBERG, E., Vattenhaltens inverkan på densitet och kompressibilitet hos packade jordar. Statens institut för byggnadsforskning, Rapport R8:1972, Stockholm.
- Mark AMA 72, 1972, Byggandets samordning, Stockholm.
- WÄRE, O., 1974, Svenska byggnadskalkers inverkan på finkorniga jordars vägtekniska egenskaper. Statens väg- och trafikinstitut, Rapport nr 41, Stockholm.

ÖRBOM, B. & LINDGREN, N., 1973, Metoder för begränsning av sättningar hos jordbankar byggda under vintern. Svenska byggnadsentreprenörföreningen, Rapport nr 10, Stockholm.

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
Swedish Geotechnical Institute
S-581 01 Linköping
Tel: 013/11 51 00

RAPPORT/REPORT No.	år	Pris kr (Sw.crs.)
1. Grundvattensänkning till följd av tunnelsprängning. <i>P. Ahlberg, T. Lundgren</i>	1977	50:-
2. Påhängskrafter på långa betongpålar. <i>L. Bjerin</i>	1977	50:-
3. Methods for reducing undrained shear strength of soft clay. <i>K.V. Helenelund</i>	1977	30:-
4. Basic behaviour of Scandinavian soft clays. <i>R. Larsson</i>	1977	40:-
5. Snabba ödometerförsök. <i>R. Karlsson, L. Viberg</i>	1978	25:-
6. Skredriskbedömningar med hjälp av elektromagnetisk fältstyrke- mätning - provning av ny metod. <i>J. Inganäs</i>	1978	40:-
7. Förebyggande av sättningar i ledningsgravar - en förstudie. <i>U. Bergdahl, R. Fogelström, K-G. Larsson, P. Liljekuist</i>	1979	40:-

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

Besöksadr.: Olaus Magnus väg 35, LINKÖPING
Postadr.: 581 01 LINKÖPING, tel 013-11 51 00