

Kapasiteten av tofeltveier

Cand. oecon. Rolv Slettemark

Kampsax, Rio de Janeiro

Størstedelen av våre veier har to felter. Et spørsmål som naturlig reiser seg, er hvor mange biler en slik vei kan avvikle pr time. Er man i stand til å bestemme kapasiteten på grunnlag av utformingen, vil dette være verdifullt for all veiplanlegging. Man vil da ha en øvre grense for hvor lenge en vei bør beholdes før den må bygges ut.

Rolv Slettemark er cand. oecon. fra 1954. Etter først å ha arbeidet i Statistisk Sentralbyrå kom han i 1959 til Transportøkonomisk Institutt der han hovedsakelig arbeidet med veiproblemer. Fra våren 1967 har han arbeidet med kommunikasjonsplanlegging i Brasil.

UDK 656.11

I den amerikanske boken Highway Capacity Manual [1] finnes det regler for hvordan kapasiteten av en vei kan bestemmes når utformingen er kjent. Men det virker som om forfatterne har tatt lett på problemet for tofeltveienes vedkommende. I Danmark har professor Bendtsen [2] påvist at man kan avvikle dobbelt så mange kjøretøyer som det i henhold til regnereglene skulle være mulig. Undersøkelsen gjaldt riktignok en bro med to kjørefelt. Det er her liten sannsynlighet for stans, og kjøringen vil preges av dette. Ved en kapasitetsstudie av E 68 over Sollihøgda ved Oslo ble det også der konstatert at man kunne avvikle dobbelt så mange kjøretøyer som det regnereglene tilsa. De to studier viser nødvendigheten av å utarbeide regneregler for kapasitet på et nytt grunnlag.

Institutt for vei- og jernbanebygging ved NTH og Transportøkonomisk institutt foretok i 1966 en rekke studier av kapasiteten på tofeltveier. Man valgte ut

10 enkeltstrekninger av E 68 fra Sollihøgda til Hønefoss, strekningen Sandvika—Billingstadsletta på Drammensveien samt en strekning på Mosseveien. Her skal refereres noen resultater av målingene.

Hensikten var å komme frem til kapasiteten for et kjørefelt på en tofeltvei av en gitt standard. For dette formål ble veien delt opp i en rekke enkeltstrekninger der standarden kunne sies å være ensartet. Her karakteriseres veistandarden ved den hastighet som personbiler holder på strekningen ved fri kjøring. Den varierte her mellom 75 og 45 km/h.

På hver strekning målte man tiden mellom påfølgende biler som kunne sies å utgjøre en kø. Samtidig ble køens hastighet målt, og motgående trafikk ble registrert. Målingen av tidsavstanden foregikk med en tidsskriver av typen Esterline—Augus, mens det til hastighetsmålingene ble brukt et Phillips Electronic Traffic Speed Meter.



Fig. 1. En veis kapasitet vil i høy grad være avhengig av hindringene i form av kurver, smale gjennomkjøringer og stigingsforholdene.

Når tidsavstanden mellom kjøretøyene og køhastigheten er kjent, kan man beregne avstanden mellom kjøretøyene, målt i meter. For den statistiske analyse ble det innført begreper:

l = avstand i meter mellom to påfølgende kjøretøyer, målt fra fronten av det ene til fronten av det andre

l_s = sikkerhetsmargin i meter

l_k = lengden av et kjøretøy i meter

l_r = reaksjonsstrekning, tilbakelagt strekning i reaksjonstiden i meter

l_b = bremsestrekning i meter

l_{vh} = en strekning som avhenger av veistandard og køhastighet

$$l = l_s + l_k + l_r + l_b + l_{vh} \quad (1)$$

V_{ko} = hastigheten for køen, km/h

V_{st} = et mål for veistandard, uttrykt ved den hastighet personbiler holder ved fri kjøring over strekningen.

Størrelsene l_s og l_k slås sammen til en konstant a_0 :

$$l_s + l_k = a_0 \quad (2)$$

Med reaksjonstiden t_r sek, forstås den tiden en fører bruker fra han oppdager at det forankjørende kjøretøy bremses til han selv begynner å bremse. Reaksjonstiden t_r anses for enkelhets skyld konstant, uavhengig av hastighet og veistandard. Man kan sette:

$$l_r = \frac{V_{ko} t_r}{3,6}$$

eller $l_r = a_1 V_{ko}$ (3)

hvor a_1 er en konstant. For bremsestrekningen l_b er det rimelig å anta at den øker med kvadratet av køhastigheten. Følgende sammenheng lar seg utlede:

$$l_b = \frac{V_{ko}^2}{2gu} \quad (4)$$

hvor g er gravitasjonskonstanten (9,81 m/sek²) og u er friksjonskoeffisienten mellom dekk og veibaner. Man kan sette:

$$l_b = a_2 V_{ko}^2$$

hvor a_2 er en konstant.

Veistandardens innvirkning på avstanden mellom kjøretøyene l er et vanskelig og meget viktig spørsmål. Jo bedre standarden er, målt ved hastighet under fri kjøring, desto mindre kan man kanskje vente at avstanden mellom kjøretøyene er. Dette kan begrunnes med at jo bedre veistandarden er, desto større blir muligheten for forbikjøring. Trafikantene vet dette, og de kjører nær hverandre i påvente av en slik mulighet. Det er også nærliggende å anta at veistandardens innvirkning på l er degressiv, slik at en økning i V_{st} fra for eksempel 70 til 80 km/h betyr mindre enn en økning fra 50 til 60 km/h.

Veistandardens innvirkning på avstanden mellom kjøretøyene l vil imidlertid også variere med den hastighet en kø holder. Dette kan forklares slik: Anta en gitt $V_{st} = 60$ km/h. En kø med hastighet $V_{ko} = 40$ km/h kjører over strekningen. Der vil det være gjennomgående liten avstand mellom bilene, fordi de venter på en mulighet for forbikjøring. Det leddet som tar hensyn til veistandarden gir liten innvirkning på l . Tenker vi oss i stedet at køen har en hastighet av 70 km/h, vil bilene holde stor avstand fordi førerne regner med at mulighetene for å kjøre forbi er små. Det forekommer sjelden rettstrekninger som er lange nok til forbikjøring. I samsvar med dette trekkes veistandarden inn ved leddet:

$$l_{vh} = a_3 \frac{V_{ko}}{V_{st}} \quad (5)$$

hvor a_3 er en konstant. Ligning (1) får formen:

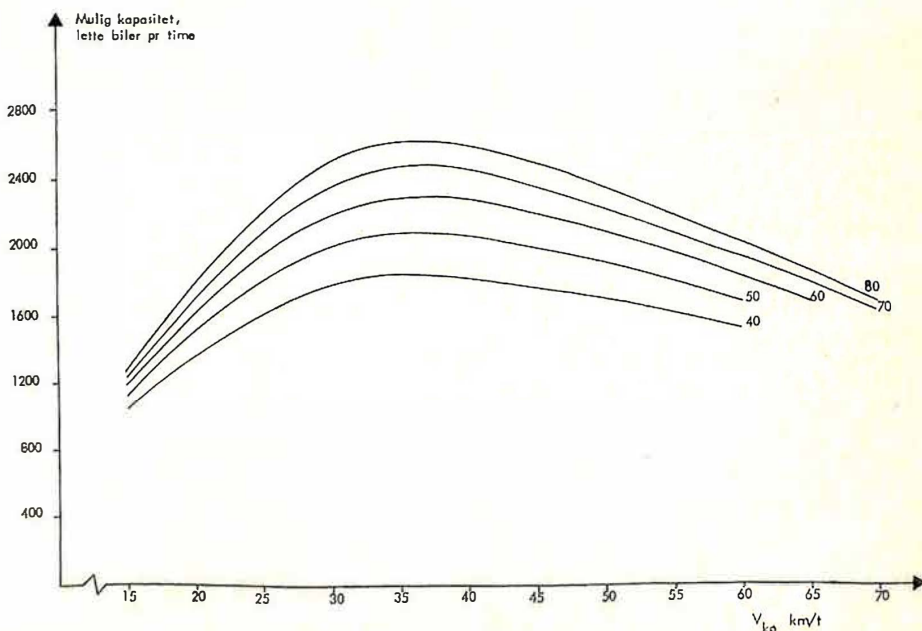
$$l = a_0 + a_1 V_{ko} + a_2 V_{ko}^2 + a_3 \frac{V_{ko}}{V_{st}} \quad (6)$$

Konstantene a_0 , a_1 , a_2 og a_3 ble bestemt ut fra 2000 observasjoner på E 68. Ligningen fikk følgende form:

$$l = 17,72 - 0,7379 V_{ko} + 0,01311 V_{ko}^2 + 12,44 \frac{V_{ko}}{V_{st}} \quad (7)$$

Den multiple korrelasjon var høy, $r = 0,94$.

Fig. 2. Mulig kapasitet for et kjørefelt på tofeltvei. De enkelte kurver angir ulike veistandarder uttrykt ved V_{st} i km/h.



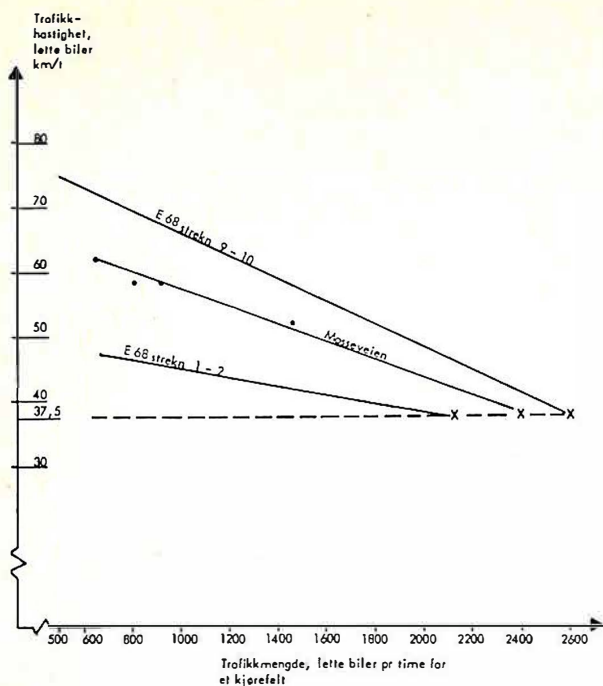


Fig. 3. Sammenhengen mellom hastighet og trafikkmengde på noen strekninger.

Ut fra ligning (7) kan kapasiteten for et kjørefelt på en tofeltvei bestemmes under ulike forutsetninger om køhastighet og veistandard. Dette er vist i fig. 2. Den køhastighet som gir det største antall biler pr time ligger i underkant av 40 km/h. Det var tidligere vanlig å anta at den optimale hastighet med hensyn på kapasitet lå høyere, 55—60 km/h. Bak denne antagelsen lå imidlertid visse forutsetninger om hvordan trafikantene burde kjøre med tanke på sikkerhet. Her er den rent faktiske kjøremåte registrert, og kapasiteten er beregnet ut fra dette. Det bør også nevnes at engelske studier i bytrafikk har gitt en optimal hastighet som ligger betydelig under 40 km/h.

For den beste veistandard ligger den teoretiske kapasiteten for et kjørefelt på 2600 lette biler pr time, og for den dårligste på 1900. Slike trafikkmengder vil det imidlertid være vanskelig å oppnå i praksis. I sammenheng med visse studier av trafikkkavviklingen i nærheten av kapasitetsgrensen, har man funnet at disse kapasitetstallene bør reduseres med 15—20 %, med høyest reduksjonsprosent for de dårligste strekninger. Man skulle da ha realistiske tall for kapasiteten av et kjørefelt på en tofeltvei.

De resultater som vises i fig. 2 er fremkommet ved

målinger av trafikken på bestemte punkter av en vei. I tillegg ble det også foretatt registrering av hastighet og forbikjøringer over lengre strekninger med enhetlig utforming. På hver strekning ble det foretatt en kontinuerlig måling av siktlengden, og ved å tegne siktdiagram over strekningene, kunne man beregne den prosentvise andel av lengden som hadde fri sikt under bestemte grenser, 450 m, 400 m osv. ned til 50 m. Tar man utgangspunkt i en gitt siktlengde, for eksempel 150 m, og konstaterer at for størstedelen av en strekning ligger sikten under denne grensen, betyr det at forbikjøringer er vanskelige. I praksis er dessuten kort sikt en indikasjon på mange kurver og dårlig sideklaring, noe som vil prege kjøremåten.

Ved å sammenholde inn- og utgående rekkefølge av bilnummer kan man beregne det totale antall forbikjøringer A i en bestemt periode. Herav finnes forbikjøringsprosenten P definert som

$$P = \frac{100 A}{N \cdot L} \quad (8)$$

hvor N er det totale antall biler i perioden og L er strekningens lengde i km. Forbikjøringsprosenten er sammenlignbar for strekninger av varierende lengde. Tabell 1 viser resultatene av noen registreringer på E 68. (Strekning 2 — 1 betegner første målestrekning i retning mot Oslo, strekning 7—8 betegner syvende målestrekning i retning fra Oslo osv.). Strekningene er fra 1700 m til 3500 m lang.

Man ser at på strekninger hvor sikten er dårlig, er forbikjøringsprosenten liten, selv ved minimal motgående trafikk. Forbikjøringene kan ikke ventes å ha noen nevneverdig innflytelse på hastighet eller kapasitet når sikten er dårlig. Om motgående trafikk ble øket til for eksempel 1000 kjøretøyer pr time, ville trafikkkavviklingen foregå omlag på samme måte. Den innflytelse motgående trafikk har som sidehinder, er ifølge undersøkelser [1] på de samme strekninger meget beskjeden.

Tilsvarende undersøkelser som de ovennevnte, ble også gjort på Drammensveien, strekningen Sandvika —Billingstadsletta, samt Mosseveien sør for Hvervenbukta. Her viste det seg at forbikjøringene helt opphørte når trafikken i motgående kjørefelt kom opp mot 500 biler pr time. Ved en trafikkhastighet på 50 km/h svarer dette til en bil pr 100 m vei i gjennomsnitt. Disse undersøkelsene viste dessuten at tallet på tunge biler i trafikkkstrømmen var meget utslagsgivende for hastighet og kapasitet når trafikk-

Tabell 1. Forbikjøringer på strekninger av E 68, Oslo—Honefoss.

Strekning	Trafikkmengde, kjøretøyer pr time		Forbikjøringsprosent P	Prosentvis andel av strekningen med sikt under 150 m
	I hovedretning	I motgående retning		
2—1	1124	62	0,7	67
3—2	764	62	1,2	50
7—8	700	114	10,3	30
8—9	585	118	20,3	10
9—10	597	146	34,4	0

Prosentvis andel sikt under 150 m	Tilsvarende trafikkhastighet, lette biler ved fri kjøring V_{st} km/h	Mulig kapasitet lette biler pr time	
		Et kjørefelt	Begge kjørefelt
0—10	80—70	2200	3300
10—20	70—65	2000	3000
20—50	65—60	1800	2700
50—80	60—50	1500	2200

Tabell 2. Anslag for mulig kapasitet ved ulike veistandarder.

mengden ble så høy at det var fare for trafikksammenbrudd og stans. I en periode da den prosentvise andel av tunge biler sank fra 8 til 4, økte den registrerte gjennomkjøringshastighet fra 20 til 48 km/h. Den totale trafikkmengde i kjørefeltet var omlag den samme, 1100—1200 biler pr time.

På Mosseveien ble det målt trafikkhastighet en søndag ettermiddag, hvor det praktisk talt ikke forekom tunge biler i trafikken. En rekke studier har vist at en økning i trafikkmengden fører til en lineær reduksjon i trafikkhastigheten, og dette ble bekreftet også her. Fig. 3 viser noen observasjonspunkter på Mosseveien, med en rett linje gjennom punktene.

Av stor interesse er det å sammenligne disse resultater med de beregninger av mulig kapasitet som kan avleses fra fig. 2. I henhold til den veistandard denne strekningen har (V_{st} ca 65 km/h), skulle kapasiteten for et kjørefelt ligge på 2400 lette biler pr time under gunstige forhold. Man ser at om linjen gjennom punktene i fig. 3 forlenges, får man trafikkmengden 2400 biler pr time ved en hastighet på 37,5 km/h. Dette er den optimale hastighet med hensyn på kapasitet ifølge fig. 2. De to registreringsmåter for hastighet/kapasitet verifiserer hverandre.

Fig. 3 viser også tilsvarende beregninger av kapasiteten på strekninger av E 68, men datagrunnlaget er svakere her. På strekningen merket 1—2 er trafikkhastigheten lav, ca 50 km/h, selv med små trafikkmengder. Hastigheten reduseres forholdsvis lite ved økning i trafikkmengden opp mot det beregnede maksimumspunkt på 2100. Det er veiutformingen som i høy grad bestemmer hastigheten. På strekningen 9—10 (Steinsletta) hvor siktforholdene er ideelle, ligger hastigheten på 75 km/h ved små trafikkmengder. Hastigheten reduseres imidlertid sterkt opp mot det beregnede maksimum for trafikk, 2600 biler pr time. Her er det trafikkmengden som er normgivende for hastigheten.

Ved de kapasitetsgrenser som er angitt i fig. 3 vil trafikkavviklingen være ustabil, med permanent fare for stans. Etter visse retningslinjer som er utarbeidet,

reduseres kapasiteten på en strekning med ideelle siktforhold med 15 % og de øvrige noe sterkere. Erfaringsmessig har man ca 2/3 av trafikken i den sterkest belastede retning, når trafikkmengden er på det høyeste. Under disse forutsetninger kan man angi anslags-tall for mulig kapasitet ved ulike veistandarder, som vist i tabell 2.

De anslåtte tall ligger betydelig over dem som til nå har vært ansett som maksimumstall for mulig kapasitet på tofeltveier [1].

Svakheten ved den tradisjonelle beregningsmetode kan kort oppsummeres slik:

1. Metoden tar ikke hensyn til den innbyrdes avhengighet som man har mellom ulike reduksjonsfaktorer for kapasitet. Det synes bedre å angi veistandarden i ett eller to tall, for eksempel prosentvis andel sikt under 150 m samt et tall som tar hensyn til høydifferanser og tunge biler.
2. Det antas at den mulige kapasitet for begge kjørefelt tilsammen er uavhengig av fordelingen på kjøreretning. Erfaringen viser her at om motgående trafikkmengde er mer enn 400 biler pr time, så er forbikjøringer utelukket. Det spiller da liten eller ingen rolle om motgående trafikk øker ytterligere.
3. Forbikjøringenes betydning for kapasitet er overdrevet. De aller fleste biler er i stand til å holde den hastighet som synes optimal med hensyn til kapasitet, ca 40 km/h.

De videre studier i dette aktuelle og interessante emnet kan best fortsettes ved simulering av trafikk på elektroniske regnemaskiner. Dette synes fullt mulig, når visse tekniske og adferdsmessige relasjoner er klarlagt.

Litteratur:

- [1] *Highway Capacity Manual* HRB 1965
- [2] *Bendtsen, P. H.: Trafikteknik I*
- [3] *Slettemarke, Rolv: Studier i kapasiteten på tofeltveier*, TØI 1967.

Veganleggsdriften konsentreres

Vegvesenets anleggsdrift på riksvegene blir stadig mer konsentrert. Følgende oversikt — fra St.prp. nr 1 (1967—68) — viser størrelsesfordelingen av bevilgningene under kap. 1370, post 30 til riksveganlegg spe-

sifisert i de fylkesvise bevilgningsoversikter. Bevilgninger under sekkeposten «Utbedring av riksveger» er holdt utenom ved grupperingen.

Bevilgningens størrelse	1966			1967			1968		
	Antall anlegg	Bevilget	Prosentvis ford.	Antall anlegg	Bevilget	Prosentvis ford.	Antall anlegg	Forslag	Prosentvis ford.
		1000 kr			1000 kr			1000 kr	
0— 99 999	0	—	—	0	—	—	0	—	—
100 000— 499 999	23	6 400	1,9	12	3 800	1,0	8	2 650	0,6
500 000— 999 999	34	23 550	6,9	27	17 300	4,6	23	15 840	3,5
1 000 000— 2 499 999	76	107 100	31,5	78	113 500	30,3	70	102 400	24,3
2 500 000— 4 999 999	22	75 000	22,1	25	84 600	22,6	36	122 300	28,8
5 000 000— 7 499 999	13	78 450	23,1	12	71 300	19,0	19	111 100	26,1
7 500 000— 9 999 999	0	—	—	3	24 500	6,5	1	7 500	1,8
10 000 000—14 999 999	4	49 500	14,5	5	60 000	16,0	5	63 500	14,9
	172	340 000	100,0	162	375 000	100,0	162	425 290	100,0
«Utbedring av riksveger»	—	—	—	—	40 900	—	—	63 710	—
Sum kap. 1370, post 30	—	340 000	—	—	415 900	—	—	488 500	—

Oversikten viser i sammendrag:

	Antall anlegg	Bevilgning (mill. kr)	Gjennomsnittlig pr anlegg (mill. kr)
1966	172	340,0	1,98
1967	162	375,0	2,31
1968	162	425,3	2,63

Antall anlegg og bevilgninger fordeler seg slik:

	1966		1967		1968	
	Antall	Bevilgning i mill. kr	Antall	Bevilgning i mill. kr	Antall	Bevilgning i mill. kr
Nye anlegg	18	18,8	25	38,6	25	34,2
Gjenopptatte anlegg	18	12,1	8	5,6	14	16,6
Anlegg med bevilgning i foregående termin	136	309,1	129	330,8	123	374,5
Sum	172	340,0	162	375,0	162	425,3

Herav:

Anlegg med foreløpig eller endelig sluttbevilgning til anleggsdrift	37	31,8	38	46,6	35	51,5
Anlegg hvortil trenges ytterligere bevilgninger	135	308,2	124	328,4	127	373,8

Stabilisering av kohesionära jordarter med kalk

Ingeniør K. G. Assarson

Svenska Cementföreningen
Malmo

Med ökade krav på vägarnas bärighet följer skärpta fordringar såväl på förstärknings- och bärlagermaterialens kvalitet och packningsgrad som på undergrundens och underbyggnadens beskaffenhet.

Redan nu är det ofta svårt att finna lämpliga vägbyggnadsmaterial till förstärknings- och bärlager på rimliga avstånd från arbetsplatserna. Dessa svårigheter kommer i framtiden att växa samtidigt som kostnaderna för transport och schaktning stiger.

Man kan därför förutse ett betydligt ökat utnyttjande av de fördelar den moderna stabiliserings-tekniken erbjuder för att förbättra undergrund och underbyggnad eller för att göra även olämpliga eller mindre lämpliga jordarter i väglinjen eller sidotag användbara som vägbyggnadsmaterial.

Teoretiskt sett kan alla mineraljordarter förbättras genom någon form av stabilisering. Om ett förstklassigt jordmaterial, som måste hämtas på större avstånd från en arbetsplats, skall väljas i stället för stabilisering av en jordart på närmare håll blir oftast en ekonomisk fråga, utan hänsynstaganda till de tekniska och praktiska fördelar en stabilisering kan innebära.

Vilken stabiliseringsmetod som skall användas beror på jordmaterialet och på de motiv man har för stabiliseringen.

Som en allmän princip gäller att friktionsjordarter stabiliseras med cement, tjära eller asfalt eller genom inblandning av kompletteringsmaterial, medan kohesionära jordarter stabiliseras med kalk, fig. 1.

Motiven för en stabilisering av undergrundens eller underbyggnadens översta skikt kan växla. Vanligast är

- att man önskar använda terrassytan som transportväg under byggnadstiden, varigenom jordmaterialen för överbyggnaden kan transporteras och påföras oberoende av vädret,
- att man vill ha en så god bärighet på terrassytan att överbyggnadens skikt kan få en tillfredsställande packningsgrad,
- att man vill hindra vatten uppifrån att under byggnadstiden tränga ned i terrassen eller vill att det stabiliserade skiktet skall tjänstgöra som

isoleringsskikt i den färdiga vägen mot vatten och tjälfarligt jordmaterial underifrån.

Jordmaterialet i undergrunden eller underbyggnaden kan bestå av såväl friktionsjordarter som kohesionära jordarter. Om det stabiliserade skiktet får inräknas i förstärkningslagret, minskas kostnaderna för schaktning, borttransport av schaktmassor och dittransport av motsvarande mängd förstärkningslagermaterial.

Stabilisering av friktionsjordart för förstärkningslager kan utöver ekonomiska skäl motiveras med att man önskar ett spärrskikt mot tjälfarligt material och vatten underifrån eller önskar en förbättrad packning av överliggande skikt i överbyggnaden.

Det främsta motivet för en stabilisering av bärlagret är att man önskar en god bärighet på detta. Därvid spelar packningsgraden och bärigheten på terrassyta och förstärkningslager en stor roll.

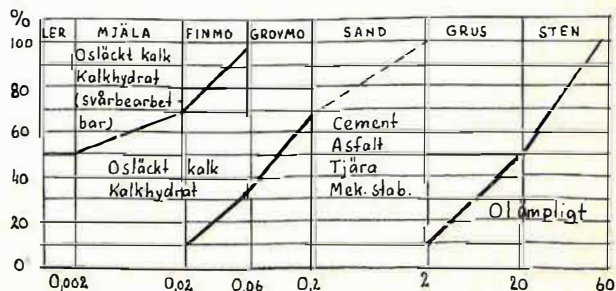
Stabilisering av friktionsjordarter

Friktionsjordarter stabiliseras vanligen genom

- mekanisk stabilisering (inblandning av kompletteringsmaterial)
- hydraulisk stabilisering (inblandning av cement)
- bituminös stabilisering (inblandning av tjära eller asfalt)

Det bör i detta sammanhang påpekas, att alla de nämnda stabiliseringsmetoderna inte endast består av inblandning av kompletteringsmaterial resp. bindemedel utan också innefattar fullgod packning vid optimal vattenhalt.

Fig. 1. Gränsskurvor över lämplig gradering för olika stabiliseringsmetoder.



Mekanisk stabilisering

Vid mekanisk stabilisering gäller det i regel att åstadkomma en bättre inre friktion i ett material med dålig korngradering. Detta kan t. ex. ske genom att inblanda ett kompletteringsmaterial som förbättrar korngraderingen eller som genom sin kornform eller ytbeskaffenhet ökar den inre friktionen.

Metoden användes ofta utomlands och stabiliseringen utföres mix-in-place. Utgångsmaterialet brukar finnas i väglinjen och det stabiliserade skiktet blir förstärkningslager eller, vid transportvägar och enklare vägar, bärlager eller slitlager.

Innehåller utgångs- eller kompletteringsmaterialet ler, mjäla, eller finmo kan vara lämpligt att före fräsningsarbetets påbörjande utsprida 1—2 kg osläckt, finpulveriserad kalk eller kalkhydrat per m².

Hydraulisk stabilisering

Bindemedlet vid hydraulisk stabilisering är vanligen cement men utomlands användes även hydraulisk kalk. Stabiliseringseffekten beror på införandet av så starka kohesionskrafter, att dessa ensamma kan motstå belastningar. Kohesionen är emellertid skenbar. Skärhållfastheten blir så hög, att det stabiliserade skiktet vid belastning får en viss tryckfördelning förmåga. Först om sprickor uppstår mobiliserar de inre friktionskrafterna och skiktet får en viss flexibilitet. Denna flexibilitet blir större om ett mönster av små sprickor uppstår. Ett sådant sprickmönster kan åstadkommas, t. ex. genom vibrovältning omedelbart efter det att cementet bundit, genom inläggning av sprickanvisningar i det stabiliserande skiktet eller genom att skära upp ett rutmönster i detta.

Ett med cement stabiliserat skikt får inte trafikerar under den närmaste veckan efter packningen. För att hindra vattenavdunstning bör ytan förseglas med asfaltlösning eller asfaltemulsion.

I vårt land är det huvudsakligen bärlager som stabiliserar med cement och vanligen har jordmaterialet blandats med cement och vatten i stationära blandare.

Utomlands sker blandningen normalt mix-in-place. Att detta förfarande inte fått så stor omfattning i vårt land beror bland annat på den knappa tillgången på lämpliga och effektiva mekaniska bindemedelsspridare och stabiliseringsfräsar. Spridarna skall antingen kunna fyllas från upplagssilo eller också skal en trycktankbil med cement kunna gå vid sidan av spridaren och via denna noggrant fördela cementet. För blandningen bör specialkonstruerade stabiliseringsfräsar användas. En annan tänkbar orsak är att cementet inte kan spridas ut på alltför

stora ytor åt gången, eftersom momenten utspridning, fräsning, vattning och packning måste följa tätt efter varandra.

Under de senaste åren har ett fuktsäkert cement med stor framgång använts för stabiliseringsarbeten i England, Västtyskland, Österrike, Schweiz och Frankrike. Cementet, som kallas Pectacrete, är av engelskt ursprung och till sin sammansättning ett normalt portlandcement. Det är dock finkornigare och varje korn är överdraget med en tunn vattenavvisande hinna. Pectacrete kan ligga utspritt på fuktig mark, även i regn, utan att skadas och det är först vid blandningen som den vattenavvisande hinnan nötes bort och cementet börjar reagera på normalt sätt.

De uppnådda resultaten tyder på att en viss bestämd cylindertryckhållfasthet kan ernås med en avsevärt mindre mängd Pectacrete än vanligt cement. Denna skillnad säges mer än väl kompensera det högre Pectacrete-priset.

Vid bärlagerstabilisering med cement erhåller man i regel ett tunt skikt med relativt hög tryckhållfasthet. Många utländska experter har på senare tid hävdad att det skulle vara gynnsammare om man sänkte tryckhållfasthetskraven och istället ökade skiktjockleken för att uppnå samma bärighet eller också flyttade ner stabiliseringen med cement till förstärkningslagret.

Ett med cement stabiliserat förstärkningslager eller undre del av förstärkningslager skulle hindra vatten och tjälfarligt material att tränga upp i överbyggnaden och medge en bättre packning av överliggande skikt.

Om det material som skall stabiliserar med cement innehåller ler, mjäla, finmo eller humus är det lämpligt att först fräsa in 1—1,5 % osläckt, finpulveriserad kalk eller kalkhydrat innan cementet utsprides.

Bituminös stabilisering

Stabiliserar en friktionsjordart med tjära eller asfalt erhålles en varaktig kohesion under bibehållande eller ökning av den inre friktionen i materialet. Eftersom bindemedlet är plastiskt, kan den inre friktionen tagas i anspråk utan att det bärande skelletets struktur förstöres. Det stabiliserade skiktet har god flexibilitet, vilket gör att det kan anpassa sig efter underlaget, om detta skulle deformeras vid statisk belastning. Samtidigt har det en god förmåga att motstå dynamiska belastningar.

Blandningen av bindemedel och jordmaterial kan antingen ske i asfaltverk eller genom att bindemedlet fräses in i den utlagda och planerade blandningen av sand och grus. För stabiliseringen användes speciella typer av tjära, asfalt och asfaltemulsioner.

Asfalt och tjära brukar vanligen användas för stabilisering av bärlager men också för stabilisering av förstärkningslager. Ett sådant förstärkningslager eller undre del av förstärkningslager skyddar mot vatten uppifrån under byggnadstiden, utgör spärrskikt mot vatten och tjälfarligt material underifrån och underlättar packningen av överliggande skikt. Det kan också tjänstgöra som transportväg under byggnadstiden.

Vid stabilisering med tjära eller asfalt inblandas normalt 1 à 2 % kalkhydrat.

Stabilisering av kohesionära jordarter med kalk

Jordarter, lämpliga för stabilisering med kalk

Kännetecknande för alla friktionsjordarter är att de har ett bärande skelett. De enskilda kornen kan kittas samman med varandra om de är överdragna med en hinna av cementpasta, tjära eller asfalt. Förutsättningen för att en sådan blandning skall bli så stabil som möjligt är att den packas vid optimal fukthalt, dvs vid den vattenhalt, som medger den tätaste lagringen av kornen. Endast då blir kornen sammankittade i ett maximum av punkter.

En jordart med mer än 35 % partiklar <0,06 mm (ler, mjäla, finmo) saknar bärande skelett. Vid låg vattenhalt och i sammanbundet tillstånd är skärhållfastheten relativt god. Ökar vattenhalten, så binder finpartiklarna vatten adsorptivt och sväller och kommer då att verka som smörjmedel mellan grovmo-, sand- och gruskornen, vilket innebär såväl minskad kohesion som inre friktion.

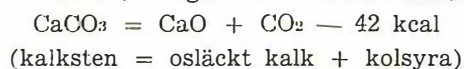
Alla jordarter med mer än 35 % ler + mjäla + finmo kan förbättras genom stabilisering med kalk. Den bärighet ett kalkstabiliserat skikt får sedan huvuddelen av reaktionerna mellan kalk och jordart skett är starkt beroende av halten och typen av lermineral som förekommer i ler-, mjäla- och finmo-fraktionerna. Ett visst mått på lermineralhalten ger plasticitetsindex och överstiger detta 10 kan man förvänta sig en god bärighet.

Kalk för stabilisering

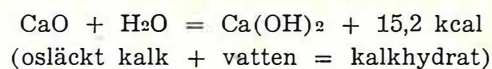
Både osläckt kalk och kalkhydrat (släckt kalk) kan användas för stabilisering, men det är stor skillnad på den verkan samma mängd av de båda kalksorterna har på en kohesionär jordart.

I arbetsbeskrivningar för stabilisering med kalk förekommer ofta uppgifter om kalkmängder utan att det närmare anges vilken kalksort som åsyftas. En kort orientering kan därför vara på sin plats.

Då kalksten brännes erhålles osläckt kalk eller bränd kalksten (vanligen kallad bränd kalk).



Osläckt kalk förenar sig med vatten under stark värmeutveckling och volymökning (= släckning) till bildning av kalkhydrat eller kalciumhydroxid.



Om släckningen sker i fabrik som torrsläckning utan vattenöverskott erhålles kalkhydratet som ett torrt pulver.

Vid stabilisering är det alltid kalkhydrat som reagerar med den kohesionära jordarten. Den osläckta kalken måste således först släckas. Av 1 kg osläckt kalk erhålles ca 1,32 kg kalkhydrat. Dessa båda mängder har samma verkan på en kohesionär jordart:

10 kg osläckt kalk motsvarar vid stabilisering ca 13,2 kg kalkhydrat

10 kg kalkhydrat motsvarar vid stabilisering ca 7,6 kg osläckt kalk.

Såväl osläckt kalk som kalkhydrat kan ha växlande renhet, främst beroende på kvaliteten på den kalksten som fabrikanten använt som utgångsmaterial. Vid en prisjämförelse mellan olika kalkfabrikat bör därför också hänsyn tagas till renheten, som både för osläckt kalk och kalkhydrat brukar anges i % CaO, men som för kalkhydrat ibland uttryckes i % Ca(OH)₂.

Kalkhydrat (släckt kalk) användes främst för stabilisering av jordmaterial med lägre vattenhalt än optimal. För dessa jordarter kan naturligtvis även osläckt kalk användas, men den måste då efter utspridning släckas genom vattning, så att den fullständigt övergår i kalkhydrat. För många arbetsplatser kan detta tillvägagångssätt bli billigare än att köpa kalkhydrat. Osläckt kalk har betydligt högre volymvikt än kalkhydrat och är därför i regel billigare att transportera och lagra. Skillnaden i pris per ton fritt fabrik är liten.

Kalkhydrat levereras antingen löst i trycktankbil eller behållare eller förpackat i säckar. Det kan lätt och med stor spridningsnoggrannhet fördelas med mekaniska spridare. För kalkhydrat, som levereras löst, bör silo finnas på arbetsplatsen.

Osläckt kalk måste användas för alla jordmaterial med vattenhalter starkt överstigande optimal. Vid inblandningen släckes kalken till kalkhydrat och kommer sedan att reagera med jordarten som kalkhydrat. Släckningen sker i jordmaterialet under stark värmeutveckling och med en kraftig vattenavdunstning som följd. Reduktionen av jordartens naturliga vattenhalt underlättas genom luftningen under fräsningen och av de reaktioner som samtidigt sker mellan det nybildade kalkhydratet och jordmaterialets finpartiklar. En liten del av vattnet bindes vid kalken då denna övergår i hydrat.

Osläckt kalk för stabilisering levereras finpulveriserad eller krossad.

För de flesta stabiliseringsarbeten är den finpulveriserade, osläckta kalken lämpligast. Den kan lätt och med stor spridningsnoggrannhet fördelas med mekaniska spridare. Vid inblandning i mycket fuktigt jordmaterial reduceras vattenhalten i detta snabbt, vilket kan vara mycket betydelsefullt. Leverans sker i regel i trycktankbilar och förutsätter att silo finns på arbetsplatsen eller att kalken kan fördelas direkt från trycktankbilen via spridaren.

Finpulveriserad, osläckt kalk är den på kontinenten mest använda leveransformen vid stabiliseringsarbeten.

Finkrossad kalk kan spridas tämligen jämnt. Den släckes långsammare än den finpulveriserade och i regel måste omfräsning ske följande dag för att man skall vara säker på att all kalk släckts.

Grovkrossad kalk bör om möjligt inte användas för stabiliseringsarbeten.

Hydraulisk kalk har förhållandevis låg CaO-halt, eftersom den även innehåller s. k. hydraulkomponenter. Denna kalk är mindre lämplig i jordmaterial med hög lermineralhalt. Orsaken kommer att behandlas närmare i beskrivningen över kalkens verkningssätt.

Kalkens verkningssätt

Alla kohesionära jordarter innehåller lermineral. Dessa, som består av vattenhaltiga aluminiumsilikater med inblandningar av t. ex. glimmer och kvarts, har bildats genom förvittring av framförallt fältspat.

Lermineralen, som ibland benämnes lerkolloider, har basutbytesförmåga, dvs de kan ur en lösning upptaga vissa katjoner (positivt laddade joner) och istället till lösningen avge katjoner som finns i leran.

Basutbytesförmågan är olika i olika lermineral, beroende på storleken av den för jonbyte tillgängliga ytan och på tätheten av negativa laddningar hos lermineralen. Lermineralen kan grovt efter kristallgittrets uppbyggnad indelas i kaolinit, glimmerhaltiga lermineral och montmorillonit. Såväl basutbytes- som svällningsförmågan stiger i nämnd ordning, fig. 2.

Det som händer då kalk inblandas i en kohesionär jordart kan grovt indelas i två huvudstadier:

1. Omvandling av jordartens struktur genom basutbyte och höjning av markvätskans pH-värde.
2. Hydraulisk stabilisering av jordmaterialet genom kemiska reaktioner mellan kalk och jordartens silikater och aluminater.

Det första huvudstadiet är kortvarigt. Då kalk inblandas i ett fuktigt jordmaterial dissoci-

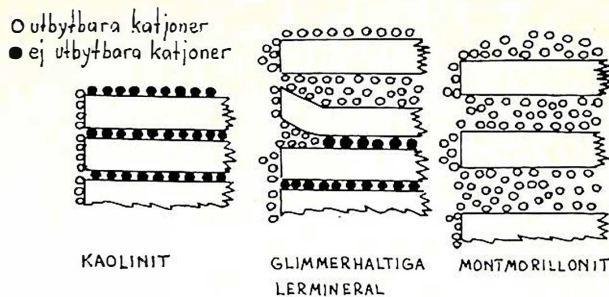


Fig. 2. Katjonsorption basutbytesförmåga och interkristallin svällning för lermineral.

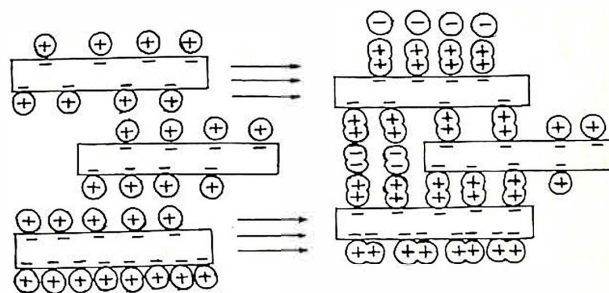


Fig. 3. Exempel på kalciumjonernas byggbildning vid katjonbyte i svällbara lermineral med liten laddningstäthet (enligt Weiss 26) 19.)

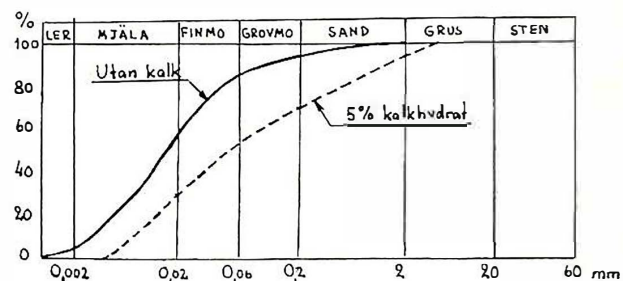


Fig. 4. Kalkens inverkan på jordarts kornstorleksfördelning.

eras en del av kalkhydratet i positivt laddade Ca^{++} -joner och negativt laddade $(OH)^-$ -joner.

Katjoner på lermineralens elementarskikt består i regel av K^+ , Na^+ , H^+ och $(NH_4)^+$ och är genom sin positiva laddning bundna vid vardera ett negativt bindningsställe på lermineralet. Vid basutbytet kan den tvåvärda Ca^{++} -jonen antingen bindas till två negativa bindningsställen på samma elementarskikt eller till två negativa bindningsställen på olika elementarskikt. I sistnämnda fallet kan många lermineralpartiklar genom bryggbildning förenas till större vattenfasta konglomerat, fig. 3. Denna strukturomvandling eller koagulation ger jordarten ett nytt utseende. De bildade grövre partiklarna är vattenfasta vilket lätt kan fastställas genom vätsiktning, fig. 4.

Det vatten som tidigare varit adsorptivt vid lermineralen får genom strukturomvandlingen och bryggbildningen möjlighet att tränga in mellan lermineralens elementarskikt och fastläggas där. Det

blir m. a. o. kapillärt inneslutet. Fenomenet kallas inre uttorkning och gör att jordarten verkar torrare än den i verkligheten är.

Jonutbytet blir fullständigare ju högre pH-värde jordarten har. Kalkhydratets (OH)-joner kan därför sägas ha en katalytisk funktion genom att de höjer markvätskans pH över 12, varigenom dels att fullständigare utbyte av lermineralens ursprungliga katjoner mot Ca^{++} -joner möjliggöres, dels lösligheten ökas på de silikater och aluminater som kommer från jordarten och som skall delta i det andra huvudstadiets reaktioner.

Beroende på vattenhalten kan en kohesionär jordart vara fast, plastisk eller flytande. Den fuktkvot jordarten har, då den övergår från plastiskt till flytande konsistenstillstånd kallas flytgräns (w_L) och den fuktkvot jordarten har då den övergår från plastiskt till fast tillstånd kallas plasticitetsgräns (w_P). Dessa gränser kan fastställas genom laboratorieprovning och skillnaden mellan dem kallas plasticitetsindex ($IP = w_L - w_P$).

För att en kohesionär jordart skall kunna packas måste den befinna sig i det fasta tillståndet och så är sällan fallet med de leror som brukar förorsaka vägbyggarna bekymmer. Den strukturomvandling och inre uttorkning som tidigare omnämndes ske genom kalkinblandningen leder emellertid till en höjning av plasticitetsgränsen, dvs av den vattenhalt vid vilken jordarten övergår från plastiskt till fast konsistenstillstånd, fig. 5.

Användes finpulveriserad eller finkrossad osläckt kalk istället för kalkhydrat reduceras den naturliga vattenhalten, dels genom vattenavdunstning förorsakad av den värmeutveckling, som sker i samband med släckningen, dels genom den luftning jordmaterialet utsättes för under blandningen. Strukturomvandlingen eller koaguleringen bidrar också i väsentlig grad till en snabbare vattenavdunstning. En mindre del av vattnet bindes vid kalken då denna släckes och övergår i kalkhydrat. Med osläckt kalk är det i vissa fall möjligt att överföra t. o. m. flytande kohesionära jordarter till fasta, fig. 6.

Den optimala vattenhalten ligger alltid inom jordartens fasta konsistenstillståndsområde och därför medför en höjning av plasticitetsgränsen också en höjning av den optimala vattenhalten. Om en kohesionär jordart har en naturlig vattenhalt som överstiger den optimala kan det bli möjligt att genom inblandning av kalkhydrat få optimal vattenhalt och naturlig vattenhalt att sammanfalla. Sker inte detta med kalkhydrat måste den naturliga vattenhalten reduceras och då användes i stället osläckt kalk, fig. 7.

Det andra huvudstadiet kan uppdelas i

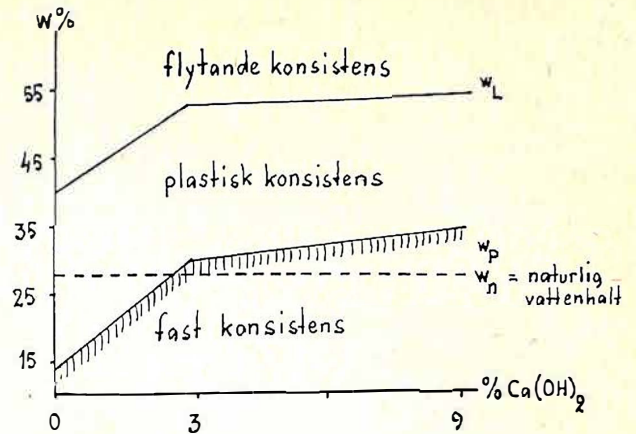


Fig. 5. Exempel på hur plasticitetsgräns (w_P) och flytgräns (w_L) ändras vid inblandning av kalkhydrat.

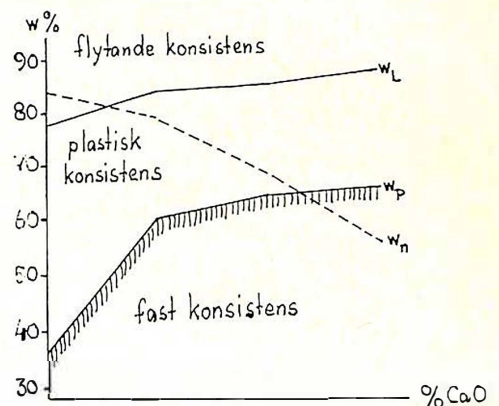
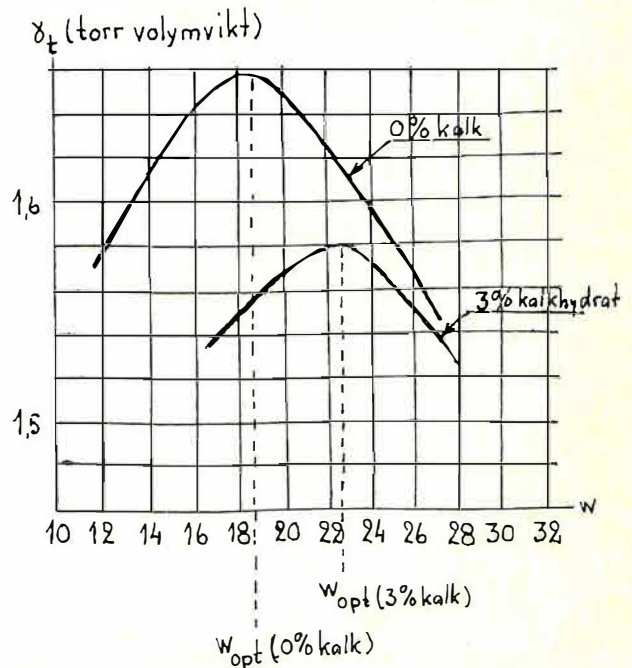


Fig. 6. Förändring av en såplers konsistenstillstånd genom inblandning av osläckt kalk.

Fig. 7. Den optimala vattenhaltens (W_{opt}) förändring genom inblandning av kalkhydrat.



flera delstadier. För ett fullständigt utbyte av lermineralens katjoner mot Ca-katjoner åtgår i regel endast ca 1 % kalkhydrat, räknat på jordartens torra vikt. Den kalk som inte förbrukats för basutbytet reagerar med jordartens silikater och aluminater till bildning av kalciumsilikathydrater och kalciumaluminathydrater. Dessa föreningar har starkt bindande förmåga och jordmaterialet blir med tiden hydrauliskt stabiliserat. Kalken är således vid stabilisering inte ett bindemedel utan bildar ett bindemedel med lermineralen i den jordart som stabiliseras.

De kemiska reaktionerna sker i början långsamt. Detta innebär vissa fördelar, bland annat har ett med kalk stabiliserat skikt under lång tid en viss flexibilitet och kan därför följa med i eventuella sättningar utan att skadas. Undersökningar har visat att bärighetstillväxten fortsätter under många år, men att huvuddelen av sluthållfastheten i regel är uppnådd inom ett år.

Reaktionshastigheten för det hydrauliska stabiliseringsskedet är främst beroende av mängden silikater och aluminater i jordmaterialet som är tillgängliga för reaktion med kalk, men påverkas också av temperaturen [18] [26]. I detta sammanhang kan påpekas att hydraulkomponenten i hydraulisk kalk består av silikater och aluminater. Användes hydraulisk kalk för stabilisering av kohesionära jordarter med hög lermineralhalt anses en del av kalkkomponenten förbrukas för reaktionen med den egna hydraulkomponenten. Resterande del av kalkkomponenten kan då bli otillräcklig för en fullständig reaktion med jordartens silikater och aluminater, men detta kan naturligtvis motverkas genom att mängden hydraulisk kalk ökas. Ur ekonomisk synpunkt är det särskilt vid finleror alltid fördelaktigast att använda en så ren kalk som möjligt, dvs med hög CaO-halt.

Laboratorieundersökningar

Innan ett större kalkstabiliseringsarbete igångsättes bör jordmaterialet undersökas på laboratorium. En sådan undersökning omfattar:

- I. Klassificering av jordarten
 - a. Siktkurva
 - b. Sedimentationsanalys
 - c. Atterbergs konsistensgränser
 - d. Naturlig vattenhalt
 - e. Humushalt
- II. Fastställandet av lämplig kalkhalt
 - a. Bestämning av optimal vattenhalt för jordarten med och utan kalk
 - b. Vattenupptagningsförsök

- c. Tryckhållfasthetsbestämning på fuktlagrade resp. vattenlagrade cylindrar
- d. E-modul (i vissa fall).

De undersökningsmetoder, som användes för att klassificera jordarten, är väl kända och behöver därför inga kommentarer. Detsamma gäller bestämningen av den optimala vattenhalten för jordarten, före inblandningen av kalk.

Därför skall istället en redogörelse lämnas för hur lämplig kalkhalt fastställs med ledning av vattenupptagningsförsök och tryckhållfasthetsbestämning.

Under årens lopp har många försök gjorts att finna en snabb metod för bedömning av den lämpligaste kalkmängden vid stabilisering av en kohesionär jordart. I Texas i USA, där stabilisering med kalk började utföras i början av 1940-talet, använde man tidigare plasticitetsindex som mätare. Den kalktillsats som gav den kraftigaste reduktionen av plasticitetsindex eller gjorde jordarten icke-plastisk ansågs som den lämpligaste.

Sedan tekniken att stabilisera med kalk börjat tillämpas i andra stater i USA liksom i andra länder, fann man att denna metod inte var tillämpbar generellt. I alla länder i Europa, som använder denna stabiliseringsteknik, har man funnit att plasticitetsindex ofta förblir oförändrat, men att det kan såväl öka som minska när kalk inblandas.

På senare tid har i USA framkommit en intressant snabbmetod. Kolvar, innehållande en viss mängd lufttorkat jordmaterial, försättes med varierande mängder kalkhydrat och en bestämd mängd vatten. Efter en viss tids skakning får kolvarna stå en timme och vätskan hälls i ett kärl för pH-mätning. Den lägsta kalkmängd som ger minst $\text{pH} = 12,3$ anses vara den lämpligaste.

Metoden att med vattenupptagningsförsök och tryckhållfasthetsbestämning bedöma vilken kalktillsats som är lämpligast kommer från Västtyskland [10] [11] men har modifierats något.

Jordmaterialets optimala vattenhalt fastställs genom instampning. Hela jordprovet får lufttorka under omskyffling då och då tills vattenhalten blivit ungefär optimal. Det inpackas då i ett lufttätt kärl sedan ett prov uttagits för bestämning av fuktkvoten.

På en del av provet göres en proctorinstampning med 3 viktprocent kalkhydrat, räknat på torr jordart, och den optimala vattenhalten för blandningen av kalk och jordmaterial bestäms. Eftersom det visat sig att den optimala vattenhalten i regel endast obetydligt förskjutes med ytterligare kalktillsats, får den på så sätt fastställda optimala vattenhalten gälla för tillverkningen av samtliga cylindrar.

En tredjedel av det lufttätt förpackade jordmate-

rialett uttagas och blandas med 3 % kalkhydrat, räknat på torr jordart. Vatten tillsättes så att optimal fukthalt erhålles. I en hydraulisk press tillverkas 12 cylindrar med 5 cm diameter och 5 cm höjd. Materialmängden anpassas så att cylindrarna får samma volymvikt som vid proctorinstampningen.

Därefter tillverkas på samma sätt 12 cylindrar med vardera kalkhalten 5 och 7 viktprocent, räknat på torr jordart.

Samtliga cylindrar paraffineras och förvaras i fuktrum med 100 % relativ luftfuktighet. Efter 5 dygn uttages 3 cylindrar av vardera kalkhalten. Paraffinhuden tages bort och cylindrarna väges. De sättes sedan ned i 1 cm vatten till nästa dag, då de ånyo väges och vattenupptagningen bestämmes. Därefter nedsänkes de helt under vatten. På sjunde dagen väges de på nytt och vattenupptagningen bestämmes, varefter de tryckhållfasthetsprovas. Samtidigt uttages 3 fuktlagrade cylindrar av vardera kalkhalten och även dessa provtryckes. De vattenlagrade cylindrarnas tryckhållfasthet uträknas i % av de fuktlagrades. Efter 26, 26+1 och 26+2 dygn göres nya provningar på samma sätt. Som lämpligaste kalkhalt rekommenderas den, där de vattenlagrade cylindrarna har det högsta värdet i procent av fuktlagrade cylindrars tryckhållfasthet.

Tidigare tillverkades även cylindrar med 0 % kalk, men dessa sönderfaller efter kort tid, om de ställs i 1 cm vatten.

I de fall E-modulbestämning utföres, användes Statens Väginstutts E-modulapparat.

För de flesta kalkstabiliseringsarbeten kan man, under förutsättning att mer än 35 % av jordmaterialet utgöres av ler + mjåla + finmo, rekommendera användningen av 10 kg högprocentig och helst finpulveriserad osläckt kalk per m² för ett 15 cm stabiliserat skikt. Om vädret och jordartens naturliga vattenhalt tillåter, kan den osläckta kalken utbytas mot 13—14 kg kalkhydrat per m². Dessa mängder ger i regel kalkhalter motsvarande minst 5 % kalkhydrat, räknat på jordartens torrsvikt.

För alla större stabiliseringsarbeten med kalk bör kalktillsatsens storlek dock fastställas genom laboratorieundersökning och med den kalkkvalitet, som skall användas för arbetet.

Arbetsutförande

Stabilisering med kalk utföres vanligen som ytstabilisering. Jordmaterialet skall vara kohesionärt och innehålla mer än 35 % partiklar < 0,06 mm. Arbetet utföres alltid mix-in-place. I regel sker stabiliseringen på material i väglinjen. Till ytstabilisering kan även räknas stabilisering av skiktvis upplagda, fuktiga skärningsmassor för bankfyllnad.

På senare tid har främst i USA olika metoder för djupstabilisering prövats och en del mindre försök har även utförts i vårt land.

Ytstabilisering

En ytstabilisering med kalk omfattar i regel följande arbetsmoment:

1. Underlagets iordningsställande

Underlaget bör vara väl planerat och ha en profil som medger vattenavrinning. Det är önskvärt att underlaget också är komprimerat.

På större arbetsplatser brukar detta arbetsmoment inte vara något större problem. Det finns emellertid exempel på arbetsplatser, där planering inte kunnat utföras tillfredsställande på grund av för hög vattenhalt i jordmaterialet. Om ett sådant arbete är brådskande kan man vinna tid genom att sprida ut en mindre mängd osläckt, finpulveriserad kalk, fräsa in denna och därefter utföra planeringsarbetet och iordningställa underlaget.

På mindre arbetsplatser kan man klara sig med tämligen enkla metoder. Packningen kan göras med ett gummihjulsfordon och större ojämnheter kan därefter justeras för hand med skyffel.

För att förebygga skador på fräsen måste de ytor som skall stabiliseras vara befriade från större stenar till ett djup av minst 20 cm.

Speciellt hårt jordmaterial bör upprivas med rivarstålsutrustad väghyvel eller bandtraktor.

2. Förvattning

Vid större arbeten bör man känna den optimala vattenhalten. Men oavsett om man känner den optimala vattenhalten eller ej är det alltid lämpligt att först göra en provstabilisering av en mindre sträcka med den kalksort som skall användas och se hur vattenhalten blir efter kalkinblandning. Med ledning av detta prov kan man i regel se om förvattning erfordras. Förvattning är alltid att föredra framför vattning under fräsningen och det är för stabiliseringsarbetet fördelaktigare med en vattenhalt som ligger någon eller några procent över än under optimal.

Man kan på ett enkelt sätt ungefär bedöma om jordarten efter kalkinblandningen har en vattenhalt i närheten av optimal genom att krama ihop blandningen till en rund klump. Kan blandningen av kalk och jordart formas till en klump som sedan lätt kan smulas sönder med fingrarna är man i närheten av optimal vattenhalt. Kan klumpen inte smulas sönder är man väsentligt över och kan man inte forma en klump är man väsentligt under optimal vattenhalt.

Kohesionära jordarter med fuktkvoter mellan 60 och 100 % har ibland stabiliserats med kalk endast för att man önskat reducera vattenhalten så att packningen underlättats. Något krav på att packningen skulle ske vid optimal vattenhalt har man således inte haft.

Förvattning bör helst utföras dagen innan stabiliseringsarbetet igångsättes.

3. Utspridning av kalk

På större arbetsplatser är det mest ekonomiskt att använda upplagssilo för kalk och någon form av mekanisk spridare med stor spridningsnoggrannhet.

Utspridning genom utläggning av säckar, dessas uppsprättande och kalkens fördelning med t. ex. asfaltrakor kan verka vara en primitiv metod, men är likväl förhållandevis billig för mindre kalkstabiliseringsarbeten. Vid användning av säckad, osläckt kalk bör ögonen skyddas genom skyddsglasögon. Alla som arbetar med osläckt kalk bör också tillhållas att arbeta i lugnt tempo och undvika svettning. Därigenom förebyggs hudskador. Användes upplagssilo och mekanisk spridare för osläckt kalk är riskerna för personskador mycket små. Vid stabilisering av jordarter med mycket hög vattenhalt kan spridningen av kalk vara ett stort problem. I regel går det emellertid att finna någon lösning. Om emellertid inget bandfordon kan taga sig fram med spridaren måste som en sista utväg osläckt, finpulveriserad kalk i säckar användas. Sedan kalken väl kommit på plats brukar fräsningen kunna genomföras. Underbyggnad måste dock vara väl packad.

På senare tid har svenska arméns bandvagn börjat användas för civilt bruk. Den har prövats vid ett vägarbete i Västsverige och visat sig ha god framkomlighet även i finleror med uppemot 100 % fuktkvot. Den bör ganska lätt kunna bygges om till spridare för arbeten av detta slag.

4. Kalkinblandning

För kalkens inblandning bör en specialbyggd stabiliseringsfräs användas. Vid arbeten med finleror är detta en nödvändighet. I grovleror kan man för mindre arbeten i nödfall använda en vanlig jordbruksfräs.

Fräsningen skall pågå tills jordarten är väl sönderdelad och överallt har samma färg, vilket i regel betyder 3—5 passager för en stabiliseringsfräs och 7—10 passager för en jordbruksfräs. En östtysk undersökning [19] visar att sönderdelningsgraden har en mycket stor betydelse. Cylindertryckhållfastheten efter 30 dygn blev 50 % högre om jordaggregatens storlek var 2—5 mm istället för 5—8 mm och 100 % högre om jordaggregaten var < 2 mm.

Fräsdjupet måste noga kontrolleras, så att skikt-tjockleken på den färdiga kalkstabiliseringen efter komprimering blir minst 15 cm.

En uppfräst blandning jordart—kalk är mycket vattenkänslig. Vid kraftigt regn bör fräsningsarbetet avbrytas och ytan tillfälligt förseglas genom packning med bandtraktor eller med hjulen till en lastbil. Då osläckt kalk användes kan fräsning i regel utföras även vid lätt regn. Försegling av ytan genom en lätt komprimering bör ske vid alla längre avbrott i fräsningsarbete om risk för regn föreligger. En uppfräst blandning jordart—kalk får aldrig utsättas för risken att bli vattenmättad, eftersom den sedan blir svår att torka upp.

5. Eftervattning

Vattenhalten kan även justeras under fräsningen, men det är önskvärt att vattenhalten regleras genom förvattning. Några undersökningar i USA visar, att om blandningen jordart—kalk först blivit för torr och sedan vattnats blir vattenbeständigheten för det stabiliserade skiktet sämre än om jordarten redan före fräsningen har optimal eller högre vattenhalt.

6. Packning

På större arbetsplatser bör man för packningen helst använda både färfotsvält och gummihjulsvält eller åtminstone den senare typen. För mindre arbeten kan komprimering i nödfall utföras med en lastbil, som först får köra tom och sedan lastad. En sådan komprimering förutsätter dock att vägen är så bred, att packning av hela vägytan kan ske. Vibrovältar bör inte användas, eftersom risk föreligger att ostabiliserad jordart underifrån kan tränga upp genom sprickor i det stabiliserade skiktet.

Packningen är vid alla stabiliseringsarbeten ett av de viktigaste arbetsmomenten och utgör en del av stabiliseringstekniken.

7. Efterjustering

Vattenavrinningen från det stabiliserade skiktets yta bör vara god. Därför måste ojämnheter och om möjligt även profilen justeras.

8. Slitlager

Ytan på ett med kalk stabiliserat skikt har låg avnötningshållfasthet. Slitlager i form av grus måste därför snarast påläggas. Tjockleken bör vara minst 15 cm, men för transportvägar med mindre trafikbelastning kan 10 cm räcka. Även makadam kan användas, men ytan bör då tätas med sand.

På stabiliserad undergrund och underbyggnad som skall användas för transporter, påföres förstärkningslagermaterial som slitlager.

9. Dränering

Dräneringens betydelse för ett med kalk stabiliserat skikt kan inte nog kraftigt betonas. Vid större stabiliseringsarbeten på undergrund och underbyggnad måste dräneringsledningarna inte bara vara lagda utan också inkopplade.

En markväg eller provisorisk transportväg kan dräneras genom ett enkelt dike.

Djupstabilisering

I USA har av tidskriftsartiklar att döma framgångsrika försök att djupstabilisera med kalk utförts under senare år. Minst två olika metoder har använts, nämligen borrhålsstabilisering och injektering.

Borrhålsstabilisering

De första försöken utfördes på vägar, där tjälfarligt material trängt upp i förstärknings- och bär-

lagret och förorsakat tjällyftning. Man borrade hål med 15 cm diameter ned till undergrunden och fyllde sedan dessa med kalkvälling, dvs en blandning av kalkhydrat och vatten. Runt tjälskadan gjordes hålen med ett inbördes avstånd av ca 1 m. På senare tid har avstånden mellan hålen minskats till $\frac{1}{2}$ m och håldiameteren till 10 cm.

Metoden har även använts för byggnadsfundament som ändrat läge och för gator och villaområden, där svällningar i leran förorsakat lyftningar. Enligt uppgift är erfarenheterna mycket goda.

Injektering

Injektering sker med specialkonstruerad apparatur och man arbetar med tryck på ca 14 kp/cm². Avstånden mellan injekteringsställena har uppgivits vara ca 90 cm och vanligaste maximidjupet ca 2 m.

(Fortsettes i Norsk Vegtidsskrift nr 3)

Dansk vegvekt for akseltrykkmåling

Måleresultatene skal anvendes til riktig dimensjonering av fremtidens veger.

Statens vejlaboratorium i Danmark har tatt i bruk et nytt måleapparat. Det er et akseltrykkelleanlegg, som ble innbygget i den ene kjørebanelen på hovedveg A 2 syd for Rønnede. Anlegget, som er det første av sitt slag i Danmark, skal gjennom belastningsundersøkelser gi vegingeniørene et bedre materiale i hende til riktig dimensjonering av fremtidige veger.

I de første 14 dagene anlegget var i funksjon, registrerte det 65 322 akseltrykk, hvilket svarer til 30—32 000 kjøretøyer, fordi en del lastebiler har mer enn to aksler. 55 619 akseltrykk var under tre tonn, mens 9 703 var over, og det er særlig de siste målinger som interesserer vegingeniørene.

Man har konstatert at knapt 700 akseltrykk lå over det tillatte. I vektgruppen åtte—ti tonn som det kan fås dispensasjon for, måltes 632 akseltrykk, ti—tolv tonn 49, tolv—tretten tonn 7 og 5 på mer enn tretten tonn.

I Frankrike er det tillatte akseltrykk 13 tonn, og grensen for akseltrykk vil formodentlig etterhvert komme opp mot det samme nivå også i andre land. Åtte tonns akseltrykk er tillatt i Danmark mot seks tonn for noen få år siden.

Målingene av akseltrykket blir foretatt av en vekt som er bygget inn i kjørebanelen over et betongrom, hvor registreringsapparatet er plassert. Vekten er delt på tvers i forhold til kjørebanelen og hengslet sammen på midten. Når et hjulpar passerer, omsettes trykket i et elektrisk signal, og alt etter signalets styrke utløser hvert trykk en telling i en av telleverkets ti grupper.

Det er meningen å montere et kamera foran telleverket slik at tallene kan fotograferes, og man vil deretter være i stand til å hente materiale til statistikker m. m. fra filmen. I forbindelse med akseltrykkkanlegget er det installert et apparat som med bestemte intervaller måler temperaturen forskjellige steder i vegens asfaltdekke. (Ingeniørens Ugeblad, nr 25, 1967.)

KURSER

Trafikkskiltene — Juridiske og tekniske forskrifter

I dagene 26.—28. mars 1968 arrangerer Den Norske Ingeniørforening, Norges Ingeniørorganisasjon — NITO, Norsk Kommunalteknisk Forening, Transportøkonomisk Institutt og Vegdirektoratet, et kurs om Trafikkskiltene — Juridiske og Tekniske Forskrifter.

Hensikten med kurset er å gjennomgå de nye tekniske forskrifter for trafikkskilt, samt kompetanseregler og samarbeid mellom myndighetene.

Deltagerplassene fordeles på politiet, kommune- og byingeniører, samt eventuelle andre interesserte.

Deltagerne bør komme fra de større steder som har relativt store trafikkkproblemer. Det beste resultat av kurset vil man oppnå om en representant fra politiet og en fra den tekniske etat, fra de aktuelle steder, deltar i kurset og senere samarbeider i sitt distrikt.

Deltageravgift: Kr 500,—.

Påmeldingsfrist: 1. mars 1968.

Alle henvendelser rettes til Den Norske Ingeniørforenings kursavdeling, frk. Karin Sørmo, tlf. 41 71 35, Kronprinsensgt. 17, Oslo 1.

Københavns bilsakkyndige får nytt anlegg for bilkontroll

De københavnske bilsakkyndiges nye anlegg i Rødovre begynner nå å anta sin endelige form. På den 2 300 m² store tomt skal det oppføres 1 200 m² kontroll-lokaler og spesialverksteder og ca 1 000 m² kontorbygninger inklusive et «drive-in» mottagelseskontor og et motorkontor som skal sikre at bilistene blir ferdig-ekspedert på ett og samme sted, opplyser sjefen for bilinspektørenes kontor i København, bilinspektør, ingeniør Frede Jensen. Anlegget kan tas i bruk oktober 1968.

Selve bilkontroll-lokalene omfatter fire baner for vare- og personbiler og en bane for lastebiler.

Arbeidsrutinen på de fire banene blir den samme. Den blir basert på en «produksjonsyklus» som forutsetter at en bil ekspederes på hver bane hvert tiende minutt.

Nøye fastlagt «produksjonsgang»

Efter mottagelsen, hvorfra papirene sendes med røp-post til kontrollbanen, kjører bilisten inn på en ventebane. Hans nummer blir ropt opp i høyttaler, og han kjører inn på kontrollbanen. Her undersøkes først kjøretøyets identitet.

Derefter foretas kontroll av det elektriske utstyr. Lader dynamoen? Lyser lyktene tilstrekkelig med stanstet motor? Hjelper det at motoren er i gang? Er batteriet i orden? Dessuten efterses sikringer, blinklys-frekvens, signalfarver, lykteinnstilling osv.

Neste punkt er kontroll av støtdempere. Så følger prøve av bremsene på et rullebremseprøveanlegg, sporingskontroll ved kjøring over sporplate og fremkjøring til en hydraulisk jekk.

Nå løftes bilen opp slik at understellet kommer i arbeidshøyde, og man efterser for- og bakhjulsoppheng, styreboltene, hjullagrene, fjærene og støtdemperfestene. Endelig skraper man litt i bunnen av de eldre bilene for å undersøke evt. rusttæring.

Til slutt kjører bilassistenten som har undersøkt vognen på siste stasjon i prøvebanen bilen en tur rundt på tomten for å prøve styrefunksjonen i praksis, etterse at speedometer, clutch og gearskifte virker som det skal og at bremsene også under kjøring trekker på samme måte som prøveanlegget viste.

Tar hensyn til publikum

På området er det avsatt plass til å foreta både stasjonære støymålinger og tildels også målinger under kjøring, idet man må regne med at det i løpet av få år vil bli fastlagt regler som nødvendiggjør slike målinger i forbindelse med noen av kontrollene. Det er også avsatt plass til røkprøver under belastning, vesentlig av dieselvogner, og samtidig kan man her kontrollere taxametre og gi folk en mulighet til selv å kontrollere feilvisningen på sine speedometre.

Måler og veier

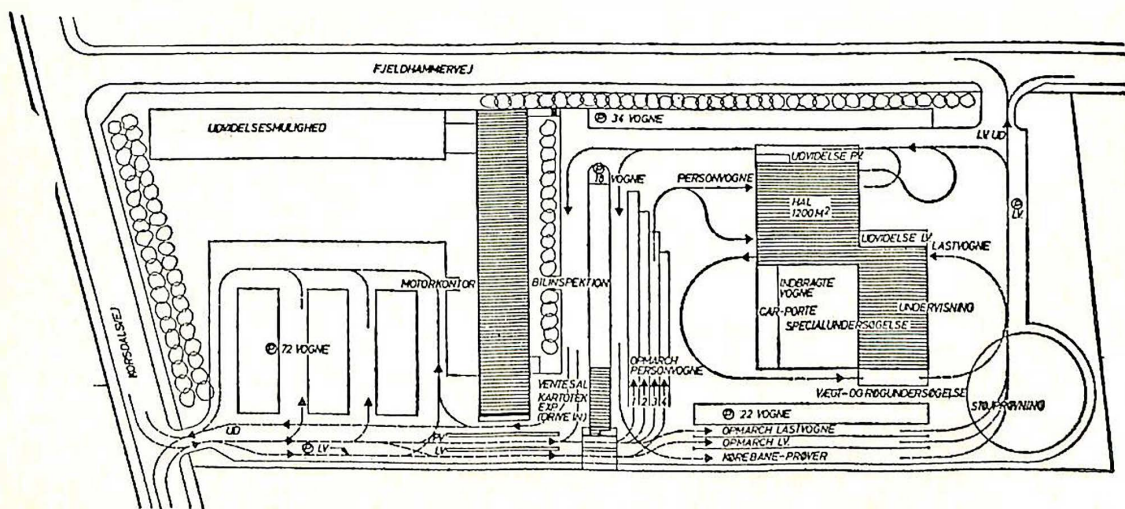
Det blir også installert egen bilvekt, så man slipper å følge med enkelte biler ut i byen for å overvære veiningen og passe på at det ikke blir forandret på belastningen fra vekt til kontrollplass.

I den tidligere omtalte spesialavdeling blir det fire plasser, hvorav en til større vogntog eller rutebiler og resten til person- og varebiler. Der blir det håndverktøy, opprettingsverktøy og hydraul- og trykkluftmåleverktøy til ulykkesundersøkelser, apparater til styre- og chassismåling osv. Man regner her med å klare 6 000 undersøkelser etter ulykker i året, herav vil ca 1 500 biler bli henvist til spesialavdelingen for særlig undersøkelse.

Endelig får man til den interne utdanning et moderne undervisningslokale med plass til 40 elever.

Anlegget er beregnet å koste ca 5.7 mill. kroner.

(Ingeniørens Ugeblad nr 31, 1967).



Personalia

Ansettelse i Vegdirektoratet:

Jens *Fossheim* som overingeniør II, Sverre *Kjørberg*, Tor *Korpperget* og Bjørn *Struksnes* som avdelingsingeniør I, Gunnar *Garnes*, Oddvar *Kjekstad* og Jostein *Raugstad* som avdelingsingeniør II, Trygve *Brenden* og Sigurd *Syversen* som laborant i særklasse.

Ansettelse i vegadministrasjonen i fylkene:

Østfold: Halvor *Folgerø* som avdelingsingeniør II.
Akershus: Ranveig *Larsen* som kontorassistent.
Hedmark: Jacob Erik *Gjelten* som konstruktør II.
Oppland: Agmund *Gillebo* som avdelingsingeniør I, Hans *Lied* og Bjarne *Sæthre* som avdelingsingeniør II.
Buskerud: Alf *Stokke* som avdelingsingeniør II, Frithjof *Indseth* og Johan *Wenner* som konstruktør I.
Vestfold: Svein *Dukefoss* som avdelingsingeniør II.
Aust-Agder: Olav T. *Bråten* som avdelingsingeniør II, Eivind *Johansen* og Ivar *Vist* som konstruktør I, John *Baasland* som konstruktør II.
Vest-Agder: Arne *Helle* som avdelingsingeniør II, Terje *Fidjeland*, Torgeir *Haugen*, Odd *Salvesen* og John *Aavitsland* som konstruktør I, Eivind *Noreid* og Tor *Oddvar Slottet* som konstruktør II.
Rogaland: Martin *Aske*, Sverre *Bilstad*, Johannes *Thomsen* og Leif *Wathne Larsen* som konstruktør I, Arne *Johanessen* som konstruktør II.
Sogn og Fjordane: Sigurd *Fredheim* som avdelingsingeniør II, Oddvar *Rosenlund* som bokholder og kasserer.
Sør-Trøndelag: Hans *Bollingmo* som avdelingsingeniør II, Ivar *Aune*, Odd *Bogen*, Bjørn W. *Johansen*, Kolbjørn *Lunde*, Lars Erik *Stav* og Oddmund *Svanem* som konstruktør II.
Nord-Trøndelag: Asbjørn *Holm* og Jon Sigvart *Holstad* som avdelingsingeniør II, Petra *Eilertsen* som sekretær II og Egil *Vist* som kontorfullmektig I.
Nordland: Erland *Heldahl* som avdelingsingeniør II.
Troms: Karl Pareli *Bruun* som avdelingsingeniør II, Edith *Sandvik* som kontorfullmektig I og Jan R. *Vollen* som konstruktør II.

Nordiske kolleger

Svenska Vägförningens Tidskrift nr 9, 1967:

Gustafsson, Hans: Containertransporter på väg.
Nellborn, Olov: Säkerhetsbältet och bilen — et system och dess förverkligande.
Räf, Jan-Erik: Trafik- och olycksutvecklingen i Stockholm efter dagen H.
Edholm, Stig: Beteendestudier vid högertrafikomläggningen.
Finska vägföreningen 50 år.
Öberg, Dan: Vägbelyningsanläggningar — stolpar och linspann.
Karlén, Ingvar: Nytt institut för byggdokumentation.
Örbom, Björn: Glidformläggare för betongbeläggningar.

Svenska Vägförningens Tidskrift nr 10, 1967:

Wennerhorn, K. O.: Fasta förbindelser över Öresund.
Lundin, Christer: Vägplanering — en kedja från vägplan till programbudget.
Ahlström, Olle: Vägghallarproblem och trafiklagstiftning.
Örbom, Björn: Betongbeläggningar och cementstabiliseringar.
Skandiahavnen och containertrafiken.
Frützell, Göte: Utvecklingsarbete inom brobyggnad.
Bydler, Roger och Genberg, Per: Vägprojektering enligt nätverksmetod.

Rundskriv fra Vegdirektoratet

Nr 60 M 1. november 1967 til Statens bilsakkyndige. Totalvekt Steyr.
Nr 61 M 2. november 1967 til Statens bilsakkyndige. Totalvekt Hanomag.
Nr 62 M 6. november 1967 til Statens bilsakkyndige. Registrering av kjøretøy etter reparasjon/utskifting av ramme eller selvbærende karosseri.
Nr 63 M 8. november 1967 til Statens bilsakkyndige. Totalvekt Peugeot.
Nr 64 M 13. november 1967 til Statens bilsakkyndige. Godkjenning av Electrolux kjøleskap type RA 10 for bruk i campingvogner.
Nr 65 M 16. november 1967 til Statens bilsakkyndige. Totalvekt Commer.
Nr 66 M 21. november 1967 til Vegsjefene og Statens bilsakkyndige. Godtgjørelse til medlemmer av Distriktsutvalget for godkjenning av bilverksteder.
Nr 67 M 21. november 1967 til Vegsjefene og Statens bilsakkyndige. Kontroll- og godkjenningsgebyr for bilverksteder.
Nr 68 M 1. desember 1967 til Statens bilsakkyndige. Totalvekt Austin, modell 250 JU.
Nr 69 M 4. desember 1967 til Statens bilsakkyndige. Ettermontering av innretninger for hjelpekraftstyring (servostyring).
Nr 70 M 11. desember 1967 til Statens bilsakkyndige. Totalvekt M.A.N.

Nr 64 — Pk. 28. oktober 1967 til vegsjefene ang. overføring av vegoppsynsmannsassistentene til Statens alminnelig lønnsregulativ.
Nr 65 — Bru. 28. oktober 1967 til vegsjefene ang. langtidsplanlegging for forsterkning og ombygging av bruer.
Nr 66 — Ak. 3. november 1967 til vegsjefene ang. entreprenørarbeider. Regler for regulering av kontraktsum som følge av lønnsendringer.
Nr 67 — Jur. 7. november 1967 til vegsjefene ang. vegsjefens forvaltningsavgjørelser. Vegloven § 11.
Nr 68 — Bru. 7. november 1967 til vegsjefene og lederne for plan-, anleggs- og vedlikeholdsavdelingene ved vekontorene ang. planbehandling for nybygging, ombygging og forsterkning av riksvegbruer.
Nr 69 — Bru. 9. november 1967 til vegsjefene ang. overflatebehandling av bruer.
Nr 70 — Pk. 11. november 1967 til vegsjefene ang. lønns- og arbeidsvilkår ved Statens vegarbeidsdrift — Overenskomstens § 12 — punkt 3: Bruk av egen bil i tjenesten.
Nr 71 — Adm. 16. november 1967 til fylkesmennene og vegsjefene ang. retningslinjer for refusjon av en kommunes utgifter til anlegg eller vedlikehold av fylkesveg.
Nr 73 — Pk. 6. desember 1967 til vegsjefene ang. lønns- og arbeidsvilkår ved Statens vegarbeidsdrift — overenskomstens § 26: Utsetting av akkorder.
Nr 74 — Pk. 8. desember 1967 til vegsjefene ang. lønns- og arbeidsvilkår ved Statens vegarbeids — overenskomstens § 8: Lønnsatser, lagerformenn og lagerarbeidere.
Nr 75 — Bru. 8. desember 1967 til vegsjefene ang. svingninger i hengebrukabler.
Nr 76 — Jur. 13. desember 1967 til vegsjefene ang. bruk av rettsmidler mot overskjønn.
Nr 77 — Plan. 14. desember 1967 til politimestrene og vegsjefene ang. registrering av trafikkulykker på riksveger.
Nr 78 — Rk. 20. desember 1967 til vegsjefene ang. vegvesenets tjenesteytelser og eventuelle leveranser til private.
Nr 79 — Pk. 27. desember 1967 til vegsjefene ang. lønns- og arbeidsvilkår ved Statens vegarbeidsdrift — overenskomstens § 26: Utsetting av akkorder.