

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

O - 165/73

KORROSJON PÅ PLATEHVELV AV ALUMINIUM I VEGTUNNELER

Blindern, 3.1.76

Saksbehandler: Hans Kristiansen

Instituttetsjef: Kjell Baalsrud

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
Innledning	1
Korrosjon på aluminium	1
Undersøkelse av vannprøver	2
Undersøkelse av korroderte plater	2
Undersøkelse av korrosjonsforhold i Åtlandstunnelen på E 13	7
Vurdering av korrosjon	7
Analyse av vannprøver	9
Konklusjon	9
 <u>Tabeller:</u>	
Tabell 1	3
Tabell 2	10
 <u>Figurer:</u>	
Figur 1	6
Figur 2	6
Figur 3	6
Figur 4	8

## KORROSJON PÅ PLATEHVELV AV ALUMINIUM I VEGTUNNELER

### Innledning

I vegtunneler har man ofte drypp eller lekkasje av grunnvann fra sprekker i fjellet. For å unngå å få vannet på veibanen hvor det kan fryse til is om vinteren, må tunnelene kles innvendig. En vanlig metode er å støpe hele tunneloverflaten ut i betong. Utstøping av vegtunneler i betong er kostbart. En billigere metode er å kle tunnelene med et platehvelv. I flere vegtunneler er hvelvene av aluminium. Disse leveres av Vik Verk, og platene er bølgede, 0,7 mm tykke og monteres vanligvis doble med et isolerende lag i mellom.

Ved inspeksjon foretatt av Hordaland vegkontor ble det oppdaget ujevnheter i platene i Haukelitunnelen, og prøver ble sendt Veglaboratoriet for vurdering av eventuell korrosjon. Veglaboratoriet diskuterte saken med NIVA, som påtok seg nærmere undersøkelser av prøvene, samt klarlegge korrosjonsforholdene. I forbindelse med dette er prøver av de eldste aluminiumshvelv undersøkt. Allerede før aluminiumshvelv ble montert i tunnelen på E 76 over Haukelifjell ble det tatt en rekke prøver av lekkasjevannet for eventuelt ved analyse å kunne påvise korrosjonsfarlige komponenter.

### Korrosjon på aluminium

Aluminium er generelt meget motstandsdyktig overfor atmosfærisk korrosjon. I naturlig vann oppviser aluminium relativt gode korrosjonsegenskaper. Grunnen til aluminiums motstand mot korrosjon er metallens evne til å passivisere seg selv ved at det dannes belegg på overflaten av aluminiumhydroksyd. I vann forsterkes belegget av oksygeninnholdet. Det er ingen generell sammenheng mellom angrep på aluminium og vannets pH-verdi. Aluminium er passivt overfor korrosjon innenfor et vidt pH-område. Når vannet inneholder kloridioner snevres dette pH-område sammen til mellom 5,5 og 8,5. Kobber er et annet ion som kan forekomme i vann og som er faringsmessig forårsaker korrosjon på aluminium. Kobber angriper det passive sjikt på aluminium og forårsaker groptæringer.

I en vegtunnel med storebiltrafikk vil det virvles opp støv som med tiden nedsmusser hvelvplatene. I litteraturen finner man at bly og jern avsatt på aluminium kan forårsake angrep. Bly kan man få i veistøv på grunn av tilsetninger til bensinen og jern på grunn av slitasje på materiell.

Smuss som avsettes på en flate, vil tiltrekke seg fuktighet og holde underlaget vått. Fuktigheten og den kondens som avsetter seg, er sur på grunn av at forbrenning i bilmotorene danner karbondioksyd og nitrose gasser som går over til salpetersyre. Av svovelholdige brennstoffer dannes svoveldioksyd som etterhvert går over til svovelsyre. Miljøet i en vegtunnel vil derfor være korrosivt dersom det ikke fins basiske materialer i tunnelen som kan nøytralisere de syrer som dannes. Et veidekke av asfalt inneholder ikke basiske komponenter som kan influere på miljøet. Et veidekke av betong derimot vil gjøre miljøet i tunnelen mindre korrosivt. Betong inneholder fri kalk som ved slitasje avgis og nøytraliserer syrene i forbrenningsgassene fra bilmotorene.

#### Undersøkelse av vannprøver

På veistrekningen over Haukelifjell (E 76) er tunnelene vannsikret med platehvelv av aluminium. For å undersøke kvaliteten av sigevannet i de forskjellige tunneler ble det tatt prøver for analyse. Resultatene fremgår av tabell 1. Med hensyn til prøvenr. vises til Hordaland Vegkontor.

Resultatene viser at alle prøver med unntak av nr. 483 har høyt elektrolyttinnhold i forhold til overflatevann. pH-verdien i vannprøvene er over nøytralt punktet, og kobberinnholdet er lavt. Normalt vil ingen av de undersøkte vannprøver være spesielt korrosiv overfor aluminium. Mulighet for korrosjon vil man imidlertid få dersom vannet blir stående og dunste inn, slik at det blir anrikt på kobber.

#### Undersøkelse av korroderte plater

Prøver av korroderte aluminiumsplater fra hvelv monter i vegtunneler langs E 76 på strekningen Røldal - Haukeli ble undersøkt, og resultatene ble:

Pepparstein-tunnelen, prøve 1-5:

1, uangrepet på den ene siden og meget svakt angrepet på den andre. 2-5 meget svakt angrepet av ujevn korrosjon (groptæring).

Haukeli-tunnelen, prøve 6-12:

6 og 6B meget svakt angrepet på den ene siden, ubetydelig på den andre. 10 angrepet av groptæring på den ene siden og betydelig

Tabell 1. ANALYSEDATA FOR LEKKASJEVANN I VEGTUNNELER. PRØVENE TATT 2. NOVEMBER 1973.

Tunnel	Prøve nr.	pH	Spes. el. ledn. evne $\mu\text{S/cm}$	Alkalitet ml N/10 HCl/l	Kalsium mg Ca/l	Magnesium mg Mg/l	Jern mg Fe/l	Mangan mg Mn/l	Kobber mg Cu/l	Sulfat mg $\text{SO}_4$ /l	Klorid mg Cl/l
Haukeli	431	7,9	173	16,3	27,4	9,89	0,01	0,001	<0,001	21	0,9
	498	8,0	102	7,2	16,3	2,04	0,01	0,007	<0,001	20	0,7
	516	7,9	84,5	5,6	13,8	1,70	0,05	0,0085	0,002	17	0,8
	638	7,9	105	6,4	19,9	1,19	0,01	0,001	0,007	24	0,9
	667	8,0	114	7,4	22,3	1,15	0,01	0,002	<0,001	25	0,8
Svandalsflona	936	7,8	106	9,3	19,8	1,60	0,02	0,0015	<0,001	10	1,0
	959	7,9	101	8,6	19,7	1,37	0,01	0,003	0,008	11	0,9
	1492	7,9	105	10,3	24,3	0,33	0,27	0,0035	0,001	5	1,2
Seljestad	1499	7,9	95	9,6	21,3	0,28	0,04	0,0005	0,002	4	1,2
	373	7,4	100	2,7	5,6	0,29	0,03	0,002	0,005	2,7	1,0
	483	6,9	10,6	0,6	1,0	0,20	0,16	0,0023	0,003	1,8	0,8
Røldal	471	7,8	87,2	5,0	14,6	0,25	0,015	0,0005	0,003	22	1,8
	914	8,0	110	5,1	19,6	0,39	0,02	0,0005	0,005	33	1,4
Byreberg	962	8,0	253	29,5	54,9	3,42	0,29	0,027	<0,001	5,9	1,0
	Punkt 2	7,4	332	22,8	24,0	2,70	0,01	0,09	0,006	75,0	2,4
	Punkt 15	7,2	184	17,9	43,0	2,30	0,18	0,36	<0,001	27,0	1,4

mindre på den andre. 11B var like mye angrepet på begge sider. To prøver merket 12 var bare angrepet på den ene siden. Den ene prøven var svakt angrepet, den andre betydelig mer.

Svandalsflona-tunnelen, prøve 15:

Angrepet av groptæringer på begge sider.

Røldals-tunnelen, prøve 18 og 22:

18 ikke angrepet. 22 betydelig angrepet på begge sider.

Seljestad-tunnelen, prøve 23 og 23B:

Ikke angrepet av korrosjon.

Flere av prøvene var tilsmusset på den ene siden. Smusset på prøve nr. 6 ble vasket av og analysert med hensyn på kobber, bly og jern. Analyser gav følgende resultater:

Kobber	0,0585 mg
Jern	28,3 mg
Bly	0,295 mg

Prøve nr. 22 ble etter rengjøring behandlet med konsentrert salpetersyre, og i syreuttrekket ble de samme metallioner bestemt. Resultat:

Kobber	0,0184 mg
Jern	0,305 mg
Bly	0,118 mg

Resultatene viser at man på aluminiumsplatene har en betydelig anrikning av de metaller som vil forårsake korrosjon når de i et surt miljø kan overføres i ioneform. Av disse bringes kobber lettest over i ioneform, mens jern og bly krever et surere miljø.

På en av prøvebitene ble begge sider behandlet med konsentrert salpetersyre hver for seg. Kobber- og blyinnholdet i syreuttrekkene ble bestemt.

Resultat:

	Vegside	Fjellside
Kobber, $\mu\text{g Cu}$	0,0090	0,0042
Bly, $\mu\text{g Pb}$	0,070	0,040

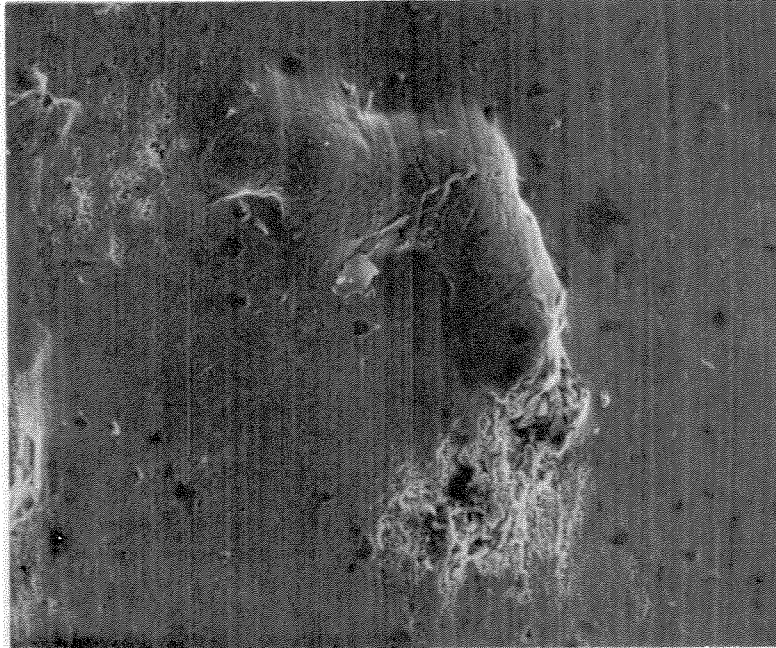
Det viser at metallanrikningen er størst på vegsiden.

Den korrosjonsform som opptrer på aluminiumsplatene er sjiktkorrosjon. Sjiktkorrosjon er alminnelig på valsede materialer særlig på kobberholdige aluminiumslegeringer. Korrosjon er lokalisert til visse sjikt, parallelle med overflaten. I en kobberholdig aluminiumslegering, vil de utløste kobberioner virke som katalysator eller galvanisk mikroelement for korrosjonsprosessen. I dette tilfelle arbeider korrosjonen seg, på grunn av avsatt kobber på overflaten, ned til et sjikt hvor det er svakheter på grunn av valsingen, og sprer seg i dette sjiktet. Korrosjonen forårsaker kraftige utsvelninger på grunn av de voluminøse korrosjonsprodukter.

Figur 1 viser et angrep på aluminiumsoverflaten. Angrepet har startet på overflaten og bredd seg videre i et bestemt sjikt. Figur 2 og 3 viser snitt gjennom angrepne områder.

Snitt gjennom korroderte områder ble undersøkt på Sentralinstituttet for industriell forskning med mikrosonde for om mulig å kunne påvise spor av fremmede elementer i korrosjonsproduktene. Det ble påvist klorid, kalsium, silisium og i noen tilfeller også svovel. Jern, bly eller kobber ble ikke påvist. Nå har denne undersøkelsesmetode en begrenset følsomhet, og ikke alle elementer er like lett å påvise. Tilstedeværelse av klorid og svovel som foreligger i form av sulfat, tyder på at man har en elektrolytt, og at miljøet lokalt kan være korrosivt. Sulfat oppstår av forbrenningsgasser og klorid antakelig fra veisalt.

På et møte ved Veglaboratoriet 28. august 1975 med representanter fra Vik Verk, Årdal og Sunndal Verk, Hordaland vegkontor og NIVA ble korrosjonsproblemene med aluminiumshvelv diskutert. Det ble ytret tvil om hvor alarmerende korrosjonsangrepene var, men det ble likevel vedtatt at inntil korrosjonsfaren er nærmere klarlagt bør oppsatte platehvelv rengjøres og



**Fig. 1.**

*Angrep på aluminiumsplate. Sjøtkorrosjon. Bildet er tatt med scanning-elektronmikroskop. Forstørret 100x.*



**Fig. 2.**



**Fig. 3.**

*Snitt gjennom områder angrepet av sjøtkorrosjon. Forstørret 75x.*



lakkeres før korrosjonsangrepene er kommet for langt. Ved oppsetting av nye seksjoner bør foreløpig ubehandlede plater ikke benyttes.

#### Undersøkelse av korrosjonsforhold i Ålandstunnelen på E 18.

Den 28. oktober 1975 var det en befaring i Ålandstunnelen på E 18 av representanter for Veglaboratoriet og Vest-Agder vegkontor for å vurdere korrosjonsforhold og ta prøver av lekkasjevann og aluminiumsplater.

Tunnelen er ca. 300 m lang, hvorav 92 m for tiden er sikret med dobbelt platetak. Veibanen og tunnelen var fuktig helt igjennom, og det var lekkasjer flere steder i fjellet utenfor platehvelvet. Det var derfor planer om å sikre 100 m til av tunnelen om ca. ett år.

Ifølge rapport fra befaringen datert 31. oktober 1975, var platene sterkt tilsmusset mot vegsiden og rue å ta på. Etter vasking med white spirit kunne det konstateres korrosjonsangrep. Angrepene var jevnt fordelt gjennom hele tunnelen, og også øvre del av platehvelvet var tilsmusset og korrodert. Der man kom til på baksiden av platehvelvet, kunne det ikke konstateres korrosjon. Heller ikke var platene angrepet mot det isolerende lag mellom hvelvene.

Figur 4 viser en skisse av veibanen gjennom tunnelen hvor platehvelvet er avmerket. På skissen er avmerket hvor det er tatt prøver av vann og aluminiumsplater.

#### Vurdering av korrosjon

En visuell bedømmelse av aluminiumsprøvene gav følgende resultat:

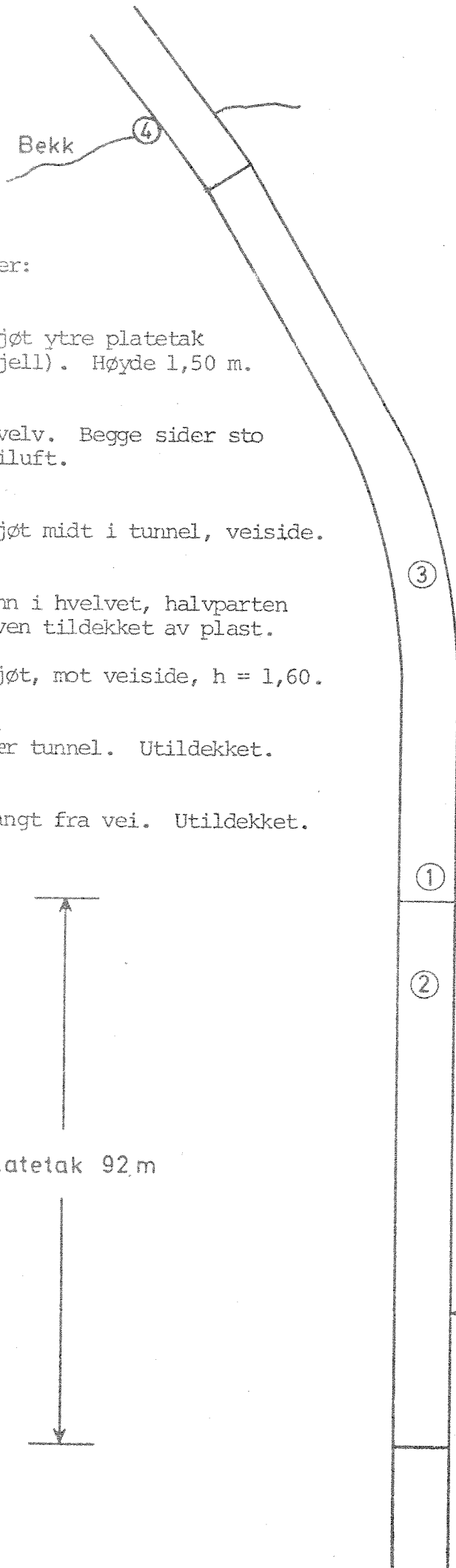
Prøve 1: ikke angrepet av korrosjon.

Prøve 2: angrepet av korrosjon (sjiktkorrosjon) på begge sider.

Prøve 3-5: angrepet bare på den ene siden.

Prøve 6: angrepet av sjiktkorrosjon på den ene siden og meget svakt

Figur 4.



Plateprøver:

- 1 Fra skjøt ytre platetak (mot fjell). Høyde 1,50 m.
- 2 Ende hvelv. Begge sider sto mot friluft.
- 3 Fra skjøt midt i tunnel, veiside.
- 4 Fra bunn i hvelvet, halvparten av prøven tildekket av plast.
- 5 Fra skjøt, mot veiside, h = 1,60.
- 6 Ute, nær tunnel. Utildekket.
- 7 Ute, langt fra vei. Utildekket.

Vannprøver:

- ① Drypp fra fjell, ende platehvelv.
- ② Samlet opp med tvist fra veibanen.
- ③ Drypp fra fjell.
- ④ Fra bekk.

7 →

angrepet på den andre siden uten sjiktkorrosjon.

Prøve 7: svakt angrepet på den ene siden uten dannelse av sjiktkorrosjon.

Prøvebitene med smuss på ble behandlet med konsentrert salpetersyre, syren angriper ikke aluminiumet. I syreuttrekket ble kobber-, bly- og jerninnholdet bestemt. Resultatene er ført opp i tabell 2.

De store avsetninger av jern og også bly sitter antakelig løst i smusset. Prøve 1 var minst angrepet av korrosjon. Denne prøven hadde også lavest kobberinnhold på overflaten. Prøve 6 og 7 hadde lavest konsentrasjon av bly på overflaten, men forholdsvis høyt kobber- og jerninnhold på overflaten. Av disse var prøve nr. 6 mest angrepet av korrosjon, og den hadde også størst konsentrasjon av kobber på overflaten. Dette kan tyde på at det er kobber som har størst betydning for korrosjon på aluminium.

#### Analyse av vannprøver

På vannprøvene ble det bare tatt et begrenset antall analysekomponenter, og følgende resultater ble funnet:

Prøve nr.	pH	Kobber µg Cu/l	Bly µg Pb/l	Jern µg Fe/l
1	8,2	17,5	2,0	75
2		2140	5610	54 200
3	7,6	36,0	1,5	75
4	5,1	14,5	1,0	150

Her har vannprøven samlet opp fra veibanen (nr. 2) meget høye innhold av alle analyserte komponenter. På grunn av lite vann kunne pH-verdien ikke bestemmes. Av de øvrige prøver er bare bekkevannet surt. Prøven har høyere innhold av kobber enn normalt for naturlig vann.

#### Konklusjon

Miljøet i en vegtunnel er surt særlig når vegdekket ikke er av betong. Betydelige mengder metallioner frigjøres på grunn av trafikken og avsetter

Tabell 2. Innholdet av kobber, bly og jern i avsetninger på aluminiumsplater i tunnelhvelv.

Prøve nr.	Areal dm <sup>2</sup>	Kobber µg Cu/dm <sup>2</sup>	Bly µg PB/dm <sup>2</sup>	Jern µg Fe/dm <sup>2</sup>
1	1,30	2,4	4,6	48,5
2	1,47	11,6	87,8	1100
3	1,52	19,7	95,7	2290
4	0,80	16,5	95,6	2780
5	0,95	8,8	67,9	1700
6	0,72	11,4	3,2	66,7
7	0,67	6,9	1,8	87,3

seg hvor de på ubeskyttede metallflater sammen med fuktighet vil forårsake korrosjon. På platehvelv av aluminium oppstår sjiktkorrosjon som i løpet av 2 år har fra en side trengt inn i en dybde av 0,15 mm. Korrosjonen vil sannsynligvis trenge videre inn sjikt for sjikt inntil platen er perforert.

For å stoppe korrosjonsutviklingen må eldre hvelv rengjøres og påføres et beskyttende malingsbelegg. Nye hvelv som settes opp bør i alle fall være korrosjonsbeskyttet mot vegbanen.