

Uppföljning av slaggrusprovvägar

provsträckor på Törringevägen utanför Malmö
och Dåvamyran utanför Umeå

Maria Arm, Lennart Larsson, Charlotta Tiberg, Bo Lind och Ola Arvidslund

Uppföljning av slaggrusprovvägar

**Fallviktsmätning på provsträckor
på Törringevägen i Malmö och Dåvamyran i Umeå.
Grundvatten- och lakvattenanalyser på provsträckor vid Dåvamyran i Umeå.**

Monitoring of test roads with MSWI bottom ash in the sub-base

**Measurements with falling weight deflectometer
on test structures in Malmö and Umeå.
Analyses of ground water and leachate along test structures in Umeå.**

Maria Arm
Lennart Larsson
Charlotta Tiberg
Bo Lind
Ola Arvidslund

Värmeforsk projekt nr Q6-604
Avfall Sverige projekt nr U-293

Förord

Denna rapport är resultatet av två stycken uppföljningsprojekt som har genomförts av Statens geotekniska institut (SGI) i samarbete med Väg- och transportforskningsinstitutet (VTI) och Vägverket Konsult. Det första projektet hette Uppföljning av befintliga slaggrusprovvägar – fallviktsmätning på provsträckor på Törringevägen i Malmö och Dåvamyran i Umeå. Det slutredovisades i mars 2005 [3]. Det andra projektet som avslutas nu heter ”Uppföljning av slaggrusprovvägar 2006–2008”. I denna rapport har resultaten från båda projekten sammanställts.

Det första projektet finansierades av Värmeforsks delprogram ”Miljöriktig användning av askor”. Det andra har samfinansierats av Värmeforsk och Avfall Sverige (f.d. Renhållningsverksföreningen RVF). Tidigare mätningar och utvärderingar som använts för jämförelse har finansierats av KFB, VINNOVA, Umeå Energi och SGI.

Till projekten har en referensgrupp varit knuten, som har bestått av Henrik Bristav (Umeå Energi) och Raul Grönholm (SYSAV Utveckling AB). Claes Ribbing (Sv Energiaskor AB) har varit Värmeforsks programansvarige och deltagit aktivt i referensgruppsmötena. I det första projektet deltog även Karl-Johan Loores (VTI) och Tomas Sandström (Vattenfall Utveckling AB) i referensgruppen.

I projektgruppen har Charlotta Tiberg, Ola Arvidslund och Åsa Lindström utfört fältprovtagningar. VTI och Vägverket Konsult har utfört fallviktsmätningar. Lennart Larsson har svarat för analys av provtagningsresultat. Maria Arm har varit projektledare och huvudförfattare till rapporten och Bo Lind har varit bollplank och granskare av rapporten.

Linköping, december 2008

Maria Arm, SGI
projektledare

Abstract

Två provvägar, sju respektive tio år gamla, med slaggrus i förstärkningslagret har följts med avseende på hållfasthetsutveckling och den ena har dessutom följts med avseende på långsiktig miljöpåverkan på omgivningen. De båda vägarnas slaggruslager har i stort sett behållit sin styvhet under åren lopp. Styvheten var ca 70% av motsvarande för bergkross. Slaggrusets utlakning av de flesta organiska och oorganiska ämnen var generellt sett begränsad. Det var främst klorid och sulfat som bedömdes vara kritiska ämnen för materialets nyttjande. Det konstaterades att utlakningsmönstret kan skilja sig markant mellan fälttester av hela konstruktioner och laboratorietester av enbart slaggrus vilket bör beaktas när potentialen för nyttiggörande av slaggrus bedöms.

Sammanfattning

I denna rapport har resultaten från två projekt sammanställts. Det första slutredovisades i mars 2005 och hette "Uppföljning av befintliga slaggrusprovvägar – fallviktsmätning på provsträckor på Törringevägen i Malmö och Dåvamyran i Umeå". Det andra projektet som avslutas nu heter "Uppföljning av slaggrusprovvägar 2006–2008".

Målet med dessa två projekt var att öka kunskapen om hållfasthet och miljöpåverkande egenskaper på lång sikt hos slaggrus när det används som vägmateriäl och att i detta arbete dra nytta av de provvägar med slaggrus som har byggts. Med slaggrus menas förädlad bottenaska från förbränning av hushållsavfall.

Inom projekten har två provvägar med slaggrus i förstärkningslagret följts upp genom fallviktsmätning. Den ena har dessutom följts med hjälp av provtagning och analys av grund- och lakvatten i och kring vägen. Den första vägen byggdes 1998, heter Törringevägen och ligger utanför Malmö. Den andra byggdes 2001, kallas Dåvavägen och finns utanför Umeå. Hållfasthetsuppföljningen har pågått vid båda vägarna under perioden 2004–2008 och uppföljningen av miljöpåverkan vid Dåvavägen har utförts under perioden 2006–2008. På varje väg har gjorts jämförelse mellan olika mättidpunkter och mellan provsträcka med slaggrus och referenssträcka med krossat berg. Dessutom har jämförelser gjorts med resultat från tidigare studier på dessa vägar, vilket har resulterat i en ovanligt lång tidsserie.

Slaggrus som används som förstärkningslager i en vägkropp behåller sin styvhet under årens lopp. Den slutsatsen kan dras från den tio år gamla provvägen i den här studien. De tre mätningar som har gjorts på den andra provvägen som är sju år gammal, visar först på en minskande styvhet och sedan på en stabilisering. Liksom vid tidigare laboratorie- och fältstudier var slaggrusets styvhet ca 70% av bergkrossmaterialets styvhet. Hänsyn till detta måste tas vid dimensioneringen. Resultaten bekräftar tidigare studiers slutsatser om att de materialtekniska egenskaperna gör slaggrus lämpligt som förstärkningslager om vägen är rätt dimensionerad. Det kan även användas som bankmateriäl, i fyllningar och som skyddslager.

Lakvattenanalyserna visade att Dåvavägens ackumulerade utlakning av kalcium och sulfat ökade under projekttiden, vilket var förvånande. Dessutom innehöll lakvattnet från referenssträckan högre halter av flertalet av de analyserade ämnena än lakvattnet från slaggrussträckan. I slaggrussträckans lakvatten minskade halten koppar, TOC, klorid och natrium markant med tiden, medan kromhalten inte minskade lika tydligt. Under de första åren efter anläggandet var halterna av analyserade organiska föreningar högre än i referenssträckans lakvatten, men halterna sjönk markant och var efter ca fem–sex år i nivå med referenssträckans värden. De senare årens lakning av organiska syror avvek från detta mönster, så att halten av dessa fettsyror var högre i referenssträckans lakvatten än i slaggrussträckans lakvatten. Bakomliggande orsak är okänd.

När tidigare laboratorielakresultat för det använda slaggruset jämfördes med nyligen föreslagna maxvärden för avfall till anläggningsbyggande (allmän tillämpning) och med gällande gränsvärden för avfall som deponeras på deponi för inert avfall, framgick att det var främst klorid, sulfat och koppar samt initialt i viss mån krom som var kritiska ämnen. Alla angivna ämnen och parametrar analyserades dock inte vid den tidigare laboratorieundersökningen. En jämförelse mellan slaggrussträckans lakresultat och resultat från tidigare utförda laboratorielaktester på slaggruset visade att utlakningen från hela vägkonstruktionen hade ett signifikant annorlunda mönster än lakningen från en-

bart slaggruset, vilket bör beaktas när potentialen för nyttiggörande av slaggruset bedöms.

Nyckelord: *slaggrus, provväg, förstärkningslager, långtidshållfasthet, fallviktsmätning, miljöpåverkan, lakning, lysimeter*

Summary

A number of test roads and test areas with processed municipal solid waste incinerator bottom ash, here called MSWI gravel, have been built in Sweden during the last 10–15 years. The main purpose of the projects reported here was to take advantage of the existing test roads to increase the knowledge of the long-term strength and environmental impact of MSWI gravel, when it is used as a road material.

Two test roads with MSWI gravel in the sub-base were monitored through falling weight deflectometer (FWD) measurements and, for one of the roads, by means of sampling and analyses of groundwater and leachate within and along the road. The first road, constructed in 1998, is named Törringevägen and is situated outside Malmö in the south of Sweden. The second road, Dåva test road, was constructed in 2001 and is situated outside Umeå in the north of Sweden. The roads were monitored regarding strength from 2004 to 2008 and Dåva test road was also monitored regarding environmental impact from 2006 to 2008. For both roads, comparison was made over time and between the test sections with MSWI gravel and reference sections with crushed rock. Comparison was also made with results from previous studies on these test roads, resulting in a uniquely long monitoring period.

The results from Törringevägen show that the road section with MSWI gravel in the sub-base retains its strength after several years. The three measurements performed at the Dåva road revealed an initially decreasing strength and then a stabilisation. As in previous studies, the strength of the MSWI gravel was found to be about 70% of that of the crushed rock, which has to be taken into account in the design phase. It was concluded that regarding the strength properties MSWI gravel is suitable as sub-base material if the road is properly designed. It can also be used as a filling material, in embankments and as a capping layer. This confirms the conclusions from previous studies.

The results from the leachate analyses showed increased cumulative leaching of calcium and sulphate from both sections at the Dåva test road, which was surprising. Furthermore, most compounds leached in greater amount from the reference section than from the test section. There was a significant decrease in the leaching of copper, TOC, chloride and sodium over time from the test section, while the decrease of chromium leaching was not as significant. During the first years after construction, the test section leached greater amount of organic compounds analysed than the reference section did, but the concentrations in the leachates decreased significantly and after five–six years they were comparable with those of the reference section. During the last years, the concentrations of organic acids in the leachates from the reference section were higher than in the leachates from the test section. The reason for this is unknown.

When results from previous laboratory leaching tests on the MSWI gravel used were compared with the newly proposed maximum values for waste to be used in construction works (general use) and with current limit values for waste disposed in landfills for inert waste, it was clear that chloride, sulphate and copper and initially to some extent chromium were critical compounds. However, all compounds with proposed or fixed limit values were not analysed in the previous study. Comparison between the leachates from the test section and results from previous laboratory leaching of the MSWI gravel showed significantly different patterns. This should be taken into account in the assessment of potential use.

Key words: *municipal solid waste incinerator (MSWI) bottom ash, long-term strength, test road, falling weight deflectometer measurement, sub-base, leaching, lysimeter, environmental impact*

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Begrepp och definitioner.....	2
2	Genomförande	3
3	Beskrivning av provsträckorna	4
4	Uppföljningsmetoder	8
4.1	Fallviktsmätning.....	8
4.2	Befintliga installationer för miljöuppföljning vid Dåvavägen.....	9
4.3	Provtagning av grund- och lakvatten vid Dåvavägen	12
4.4	Vattenanalyser	17
5	Resultat från fallviktsmätningar 2004, 2006 och 2008.....	19
5.1	Törringevägen	19
5.2	Dåvavägen	21
6	Diskussion av fallviktsresultat.....	23
6.1	Styvhetsutveckling för provsträckan på Törringevägen.....	23
6.2	Styvhetsutveckling för provsträckan på Dåvavägen.....	24
6.3	Skillnad i styvhet mellan provsträckor och referenssträckor.....	24
6.3.1	Jämförelse mellan prov- och referenssträcka på Törringevägen.....	25
6.3.2	Jämförelse mellan prov- och referenssträcka på Dåvavägen.....	27
6.4	Styvhet och stabilitet.....	31
6.5	Osäkerhetskällor i fallviktsresultat.....	31
7	Resultat och diskussion av grundvattenanalyser, Dåvavägen 2006–2008.....	33
7.1	Fältningsdata för grundvatten	33
7.2	Resultat från laboratorieanalys av grundvatten.....	34
8	Resultat och diskussion av lakvattenanalyser, Dåvavägen 2006–2008	36
8.1	Fältningsdata för lakvatten.....	36
8.2	Oorganiska ämnen i lakvattnet	36
8.2.1	Sammanfattning av utlakningen av oorganiska ämnen	44
8.3	Organiska föreningar i lakvattnet	45
8.3.1	Sammanfattning av utlakningen av organiska föreningar	49
9	Slutsatser	50
10	Rekommendationer	51
11	Förslag till fortsatt forskningsarbete	52
12	Referenser	53
13	Plan- och profilritningar & Foton.....	55

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I Sverige finns ett antal provsträckor och provytor med slaggrus i olika lager och funktioner. SGI och VTI har deltagit i planeringen och uppföljningen av flera av dessa [10], [11], [9], [1], [2]. Tre stycken är aktuella här: Gumpekulla-vändörat i Linköping som byggdes 1987 [10], Törringevägen utanför Malmö som byggdes 1998 och Dåvavägens transportväg i Umeå som byggdes 2001.

För samtliga dessa objekt har uppföljning i någon form gjorts. Antingen med fallviktsmätning för analys av hållfasthetsutveckling eller med vattenprovtagning för analys av miljöpåverkan eller båda delar. Törringevägen ingår även i en studie av långtidsegenskaper där syftet är att i laboratoriet simulera de åldringsreaktioner som observerats i vägen [5].

De fallviktsmätningar som hade gjorts fram till år 2003 visade att styvheten hade ökat med tiden hos slaggrusvägen i Linköping [1]. Motsvarande ökning hade inte upptäckts i de två senare byggda vägarna. I Malmö fanns dock bara värden från mätningar ett och två år efter byggandet och i Umeå hade mätningar bara utförts vid ett tillfälle, ett år efter byggandet [2].

Uppföljning av de miljöpåverkande egenskaperna hos slaggrus gjordes under de första två åren på Törringevägen och har rapporterats i [1] [8] och [17]. Dåvavägen har också studerats med avseende på miljöpåverkan på omgivningen och resultatet finns rapporterat i [12].

De provsträckor som finns ger en unik möjlighet att studera slaggrusets långtidsegenskaper. Vägen i Linköping grävdes bort 2004 och dess egenskaper studerades då i ett annat projekt inom Askprogrammet [6], men sträckorna i Malmö och Umeå¹ finns kvar och innehåller dessutom slaggrus av ”modernare” sort. Under 2004–2008 har dessa två vägar följts i två projekt vars resultat redovisas i denna rapport.

1.2 Syfte

Projektens syfte har varit att öka kunskapen om slaggrus långtidshållfasthet och långsiktiga miljöpåverkan när det används som vägmateriäl (förstärkningslager i lågtrafikerade vägar) och att dra nytta av de provvägar med slaggrus som redan byggts och de installationer för miljöuppföljning som gjorts vid provvägen i Umeå. Erfarenheterna kan användas vid planering av nya liknande objekt.

¹ Under senare år har Dåvavägen byggts om, vilket kan försvåra fortsatt uppföljning.

1.3 Begrepp och definitioner

Bärförmåga	Den last ett lager av ett material kan bära utan att den permanenta deformationen/sättningen blir större än ett visst angivet värde. Mäts i kPa.
Lagermodul	Medelstyvheten för ett lager, utvärderad från fallviktsmätning.
L/S	Kvoten mellan den volym lakvatten (<u>L</u> iquid) i liter som har varit i kontakt med ett visst material och detta materials vikt (<u>S</u> olid) i kg.
MSWI gravel	Processed bottom ash from incineration of municipal solid waste. Processing means that particles with a diameter greater than 40 mm and magnetic particles are removed and the rest is stored outdoors for at least six months.
Redoxpotential	Potential för oxidations- och reduktionsreaktioner. Hög redoxpotential tyder på en oxidativ miljö. Betecknas med Eh.
Slaggrus	Sorterad och lagrad bottenaska från förbränning av hushållsavfall. Sorteringen innebär att partiklar med större diameter än ca 45 mm samt magnetiska partiklar avskiljs. Lagringen innebär utomhuslagring i minst sex månader.
Stabilitet	Motstånd mot permanenta deformationer/sättningar.
Styvhet	Motstånd mot elastiska deformationer. Samband mellan spänning och töjning. Mäts i MPa.
TOC	Total organic carbon, dvs total halt av organiskt kol.
Ytmodul	Medelstyvheten för hela konstruktionen från ytan och nedåt inom fallviktens djupverkan som är cirka två meter. E_0 betecknar medelstyvheten från mät-ytan medan E_{500} betecknar medelstyvheten från 500 mm djup.

2 Genomförande

Två provvägar med slaggrus i förstärkningslagret har följts upp med avseende på hållfasthet och den ena har dessutom följts med avseende på miljöpåverkan. Den ena byggdes 1998, heter Törringevägen och ligger i Kävlinge utanför Malmö. Den andra byggdes 2001, kallas här för Dåvavägen och finns vid Umeå Energis anläggning i Dåva utanför Umeå.

Vägarnas hållfasthetsutveckling har studerats genom fallviktsmätning. I båda fallen mättes provsträcka med aska och referenssträcka med krossat berg. Mätdata har utvärderats som lagermoduler för olika lager respektive ytmoduler för hela konstruktionen. På varje väg har gjorts jämförelse mellan olika mättidpunkter och mellan prov- och referenssträcka. Dessutom har jämförelser gjorts med resultat från tidigare hållfasthetsstudier som gjordes för Törringevägen ett och två år efter byggandet och för Dåvavägen ett år efter byggandet [2].

Uppföljning av miljöpåverkan har gjorts för Dåvavägen och omfattar provtagning och analys av lakvatten samt provtagning och analys av grundvatten. Både provsträcka med aska och referenssträcka med krossat berg har följts. Även här har jämförelse gjorts mellan olika tidpunkter och mellan prov- och referenssträcka. Dessutom har jämförelser gjorts med resultat från tidigare miljöstudier som gjordes för Dåvavägen de första tre åren efter byggandet [12].

Den sammanlagda projekttiden har varit maj 2004 till december 2008. Fallviktsmätning med ”falling weight deflectometer”, FWD, utfördes 2004, 2006 och 2008. Vattenprovtagning vid Dåvavägen utfördes vid ett tillfälle 2006, vid två tillfällen 2007 och vid ett tillfälle 2008. Detta har, tillsammans med tidigare mätningar, gett en ovanligt lång tidsserie.

3 Beskrivning av provsträckorna

De två provvägarna har både likheter och skillnader. I båda används slaggruset som förstärkningslagermaterial. Båda är lågtrafikerade med avseende på tung trafik. På Törningevägen (Figur 1) förekommer endast sporadisk tung trafik, medan Dåvavägen (Figur 2) trafikeras dagligen av ett tjugotal lastbilar utan släp.



Figur 1. Törningevägen i juni 1999
(Foto VTI).

Figure 1. Törningevägen test road in June 1999 (Photo VTI).

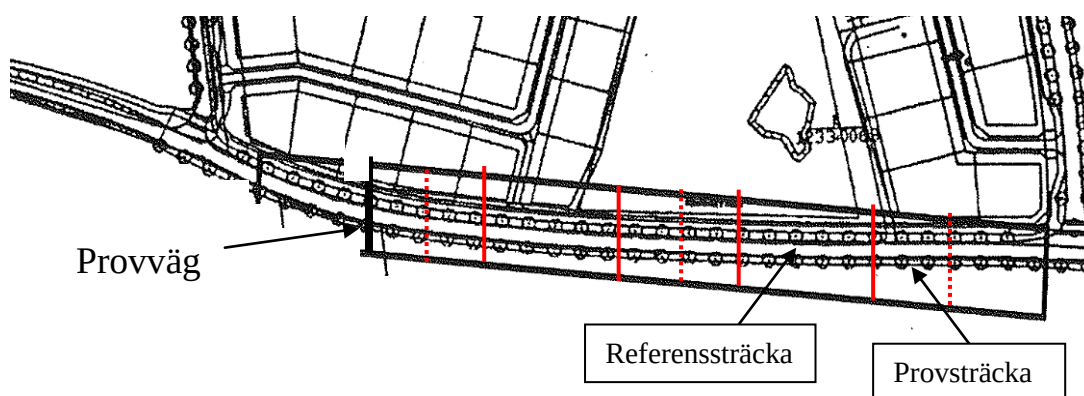


Figur 2. Dåvavägen i september 2003
(Foto SGI).

Figure 2. Dåva test road in September 2003 (Photo SGI).

Törningevägen byggdes i november–december 1998 och är en genomfartsgata vid byn Käglinge ca 10 km sydost om Malmö (Figur 44). Ett avsnitt, ca 300 m, av gatan byggdes som en provväg med fem olika sträckor (Figur 3). Tre av sträckorna är tvådelade provsträckor med olika alternativa material – krossad betong, tegel eller slaggrus – i förstärkningslagret och antingen krossad betong eller bergkross i bärlagret. Övriga två sträckor utgör referenssträckor och innehåller enbart bergkrossmaterial [8] [17].

I detta projekt har två sträckor studerats, en av referenssträckorna som är 60 m lång och den provsträckan som har slaggrus i förstärkningslagret och bergkross i bärlagret och är 30 m lång (Figur 3).

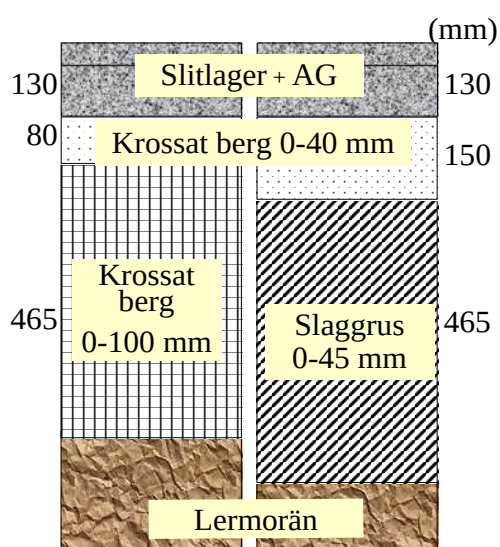


Figur 3. Törningevägens provvägsavsnitt, översiktsplan (efter [8]).

Figure 3. Törningevägen test road, overview (after [8]).

I provsträckan ligger slaggruset som ett cirka 46 cm tjockt förstärkningslager under 15 cm bärlager av bergkross och 13 cm asfaltbundet bär- och slitlager (Figur 4). Undergrunden består av lermorän och en fiberduk skiljer slaggruset från undergrunden (Figur 5).

Referenssträckan är byggd med bergkross i förstärkningslagret och med endast åtta cm bärlager av bergkross (Figur 4). Skillnaden i bärlagertjocklek beror på att man vid byggandet ville följa Vägverkets regler så väl som möjligt. Enligt reglerna räcker åtta cm bärlager på krossat bergmaterial medan okrossat material kräver 15 cm bärlager. Slaggruset ansågs mest motsvara ett okrossat material.



Figur 4. Törringevägen, uppbyggnad av referenssträcka och provsträcka [1].

Figure 4. Törringevägen test road, reference structure and test structure [1].

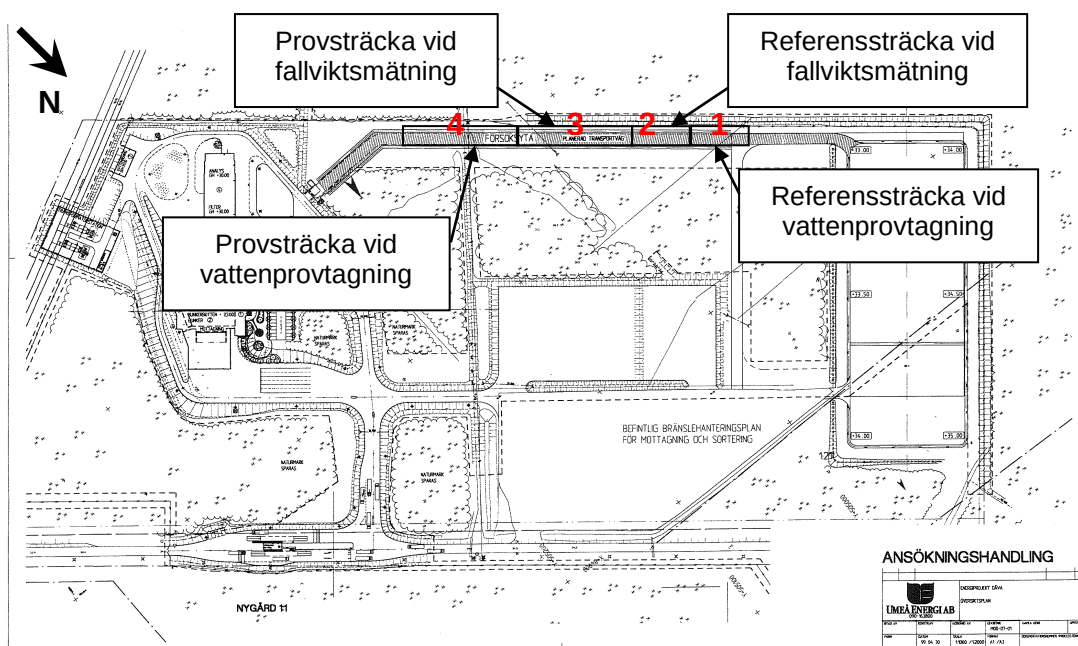


Figur 5. Törringevägen, utläggning av slaggrus på provsträckan i november 1998.

Figure 5. Törringevägen test road, filling with MSWI bottom ash on the test structure.

Dåvavägen byggdes i augusti–september 2001 på Dåvamyran norr om Umeå och används som en intern transportväg inom Dåva kraftvärmeverks område (Figur 46). Den byggdes bland annat med syftet att öka kunskapen om slaggrusets mekaniska och miljömässiga egenskaper när det används som vägbyggnadsmaterial under norrländska förhållanden [12] [17].

Vägen är indelad i fem sträckor med olika utformning och fyra av dem har följts upp i detta projekt (Figur 6). Sträcka 1 och 2 är 40 m långa och har förstärkningslager av bergkross medan sträcka 3 och 4 är 80 m långa och har förstärkningslager av slaggrus. De båda mellersta sträckorna är asfaltbelagda och har använts för hållfasthetsstudierna. Miljöuppföljningen har gjorts vid sträcka 1 och 4 som är grusbelagda.

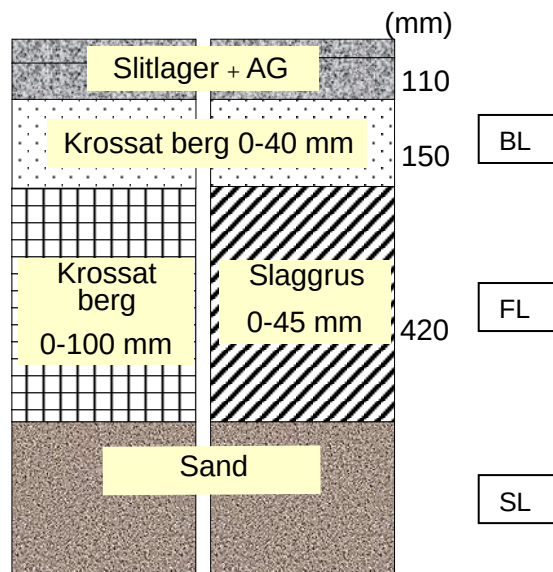


Figur 6. Dåvavägen, översiktsplan.

Figure 6. Dåva test road, overview.

Även i Dåvavägen ligger slaggruset som förstärkningslager, ca 42 cm tjockt, under 15 cm bärlager av bergkross. Överst ligger 11 cm asfaltbundet bär- och slitlager. Under slaggruset ligger ett så kallat skyddslager av sand och därunder en finkornig morän (Figur 7).

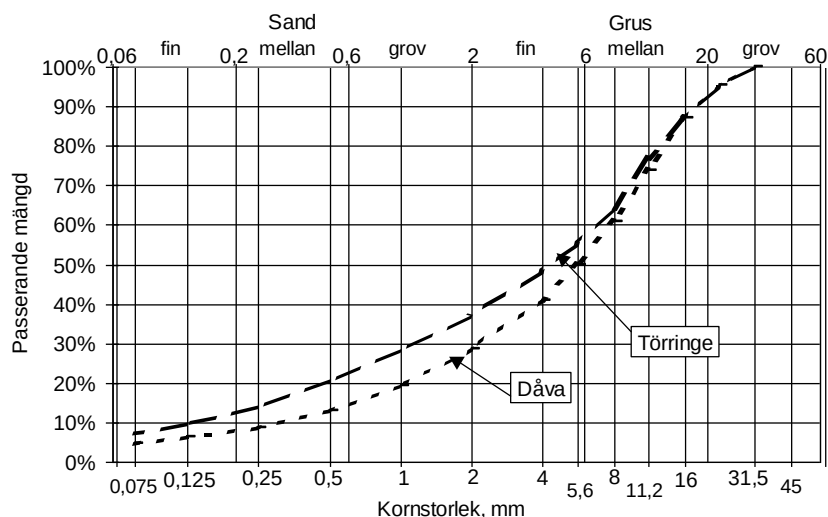
Båda slaggrusmaterialen är restprodukter från förbränning av hushålls- och industriavfall i en rosterpanna. Törningematerialet hade lagrats i mer än två år medan Dåvamaterialet hade lagrats 4–7 månader innan utläggningen. Dåva kraftvärmeverk togs i bruk i augusti 2000, dvs. ett år innan provvägen byggdes. Det eldades då med sorterat hushållsavfall och restprodukter från skogsindustrin [12].



Figur 7. Dåvavägen, uppbyggnad av referenssträcka och provsträcka [1].
BL = bärlager, FL = förstärkningslager, SL = skyddslager och undergrund.

Figure 7. Dåva test road, reference structure and test structure [1].
BL = base, FL = subbase, SL = capping layer and subgrade.

Någon provtagning och laboratorieundersökning av materialen har inte gjorts i den här studien. I andra studier [2] har bland annat kornstorleksfördelningen för slaggrus från de båda anläggningarna bestämts (Figur 8). Den kemiska sammansättningen för materialen finns redovisad i [8], [16] och [17].



Figur 8. Kornstorleksfördelning för de två slaggrusmaterialen (efter [2]).

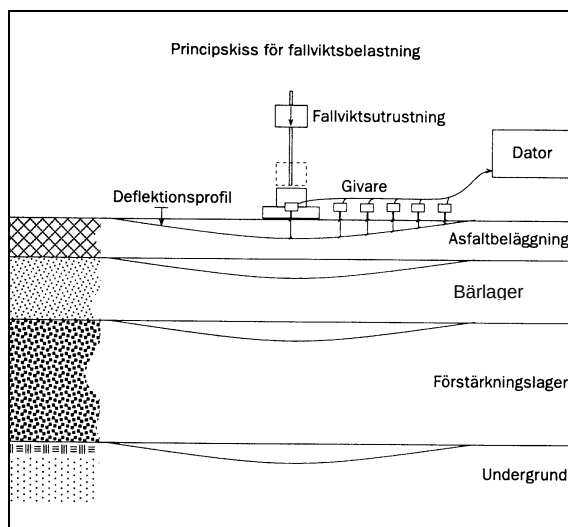
Figure 8. Particle size distribution of the two MSWI gravel materials (after [2]).

4 Uppföljningsmetoder

Här beskrivs principen för fallviktsmätning samt hur provtagning av grundvatten och lakvatten utfördes och vilka kemiska analyser som gjordes på vattnet.

4.1 Fallviktsmätning

Hållfasthetsutveckling kan registreras med hjälp av fallviktsmätningar. Metoden är ett hjälpmedel för att bedöma vägars eller vägmateriallagers styvhetsegenskaper och heter egentligen Provb belastning med fallviktsapparat. Vid provbelastningen belastas vägytan av en vikt som får falla ned på en belastningsplatta som vilar på vägen (Figur 9).



Figur 9. Princip för provbelastning med fallviktsapparat enligt [18].

Figure 9. Principle of Falling Weight Deflectometer, FWD, measurement according to [18].

Under belastningen registreras vägytans maximala nedsjunkning eller deflektion av givare, dels i belastningscentrum, dels i ett antal punkter på valda avstånd därifrån. Vikten faller ned på ett fjädersystem ovanpå belastningsplattan och plattan överför kraftpulsens till vägen. Kraftpulsens storlek beror av viktens massa, fallhöjden, fjädersystemets egenskaper och väggkroppens styvhet. Storleken på deflektionerna och hela "deflektionsprofilens" utseende är en funktion av styvheter och tjocklekarna hos de lager som påverkas av belastningen. Deflektionen i belastningscentrum påverkas av alla lager inom lastens djupverkan, medan deflektionen under den yttersta givaren påverkas främst av förhållandena i undergrunden. (Deflektionsprofilen kallas ofta lite vanvördigt för sjunktratt).

Om lagertjocklekarna i en konstruktion är kända kan de olika lagrens styvheter itereras fram med hjälp av ett datorprogram och de uppmätta deflektionernas storlek [19]. Vid kontroll av hållfasthetsutvecklingen görs upprepade mätningar och de utvärderade lagerstyvheter, s.k. lagermoduler, jämförs. För en relativ jämförelse mellan konstruktioner kan även ytmodulen eller medelmodulen för olika djup användas.

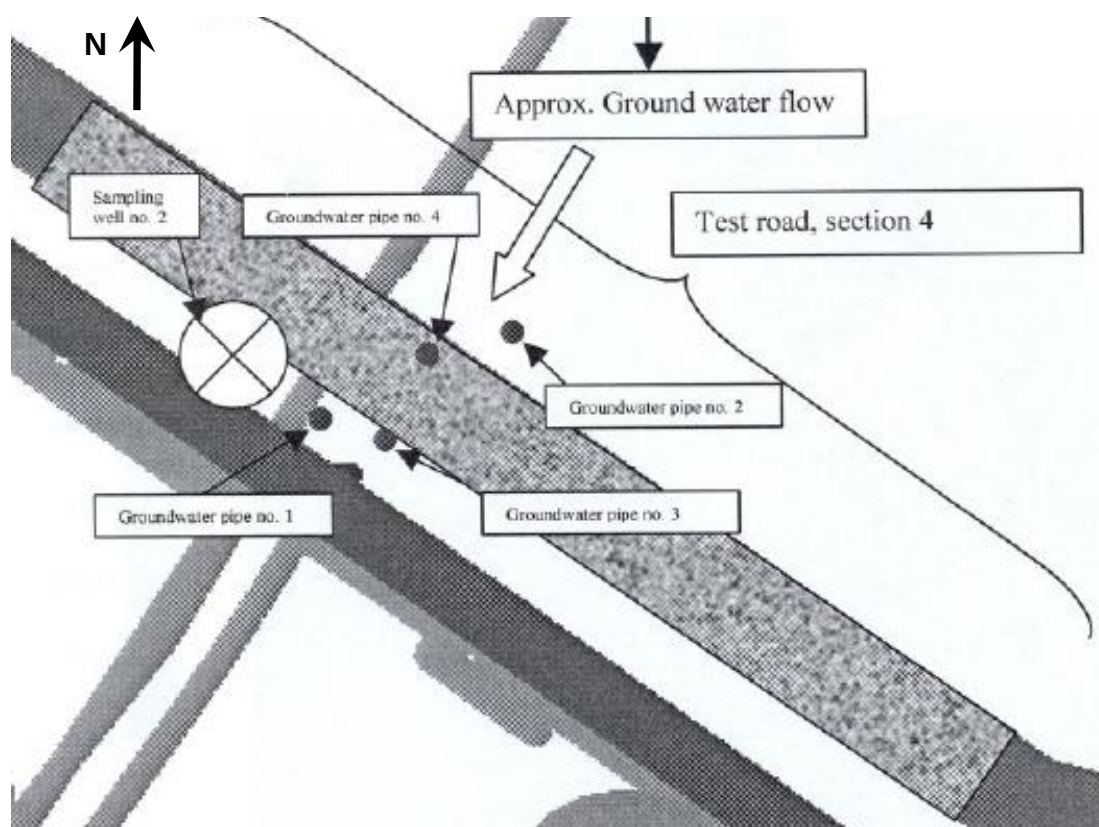
Observera att det finns fallviktsapparater av olika fabrikat och att tekniskt viktiga egenskaper såsom kraftpulsens längd och form kan skilja dem åt. Därför bör upprepade mätningar med syfte att följa upp ett vägobjekt utföras med apparater av samma konstruktionstyp. Normalt utförs mätning i höger hjulspår för att fånga den tunga trafikens påverkan på vägen. På färdig vägyta används belastningen 50 kN. På andra ytor, till exempel terrass, bör en mindre last användas. Normalt är belastningsplattans diameter 300 mm. Deflektionsgivarnas antal och placering väljs med tanke på vägkonstruktionen. Vägverket rekommenderar generellt minst sex givare som placeras på följande avstånd från belastningscentrum: 0, 200, 300, 450, 600 och 900 mm. Mätning ska göras på otjä-

lad väg om inte syftet är att studera just tjällossning. Temperaturen i beläggningen och luften ska mätas vid belastningstillfället, beläggningstemperaturen flera gånger. Det beror på att en asfaltbeläggnings styvhet är temperaturberoende och mätresultaten behöver korrigeras till en referenstemperatur.

En fördel med metoden är att den använder en dynamisk last som simulerar en fordons-axelöverfart. Dessutom är det en snabb, ickeförstörande provning där olika lagers egenskaper kan särskiljas. Den fungerar bra på vägkonstruktioner med alternativa material, men den kan inte användas på för svagt underlag där mätfordonet inte tar sig fram.

4.2 Befintliga installationer för miljöuppföljning vid Dåvavägen

Ett av syftena med projekten som rapporteras här var att dra nytta av de installationer som hade gjorts vid Dåvavägen för uppföljning av vägens miljöpåverkan på omgivningen. Dessa bestod av fyra stycken grundvattenrör som hade satts i och runt den grusbelagda asksträckan (Figur 10) samt lysimetrar för lakvattenuppsamling som hade installerats under förstärkningslagret i samtliga sträckor.



Figur 10. Dåvavägen, ursprunglig installation av grundvattenrör i profil över vägen (efter [12]).

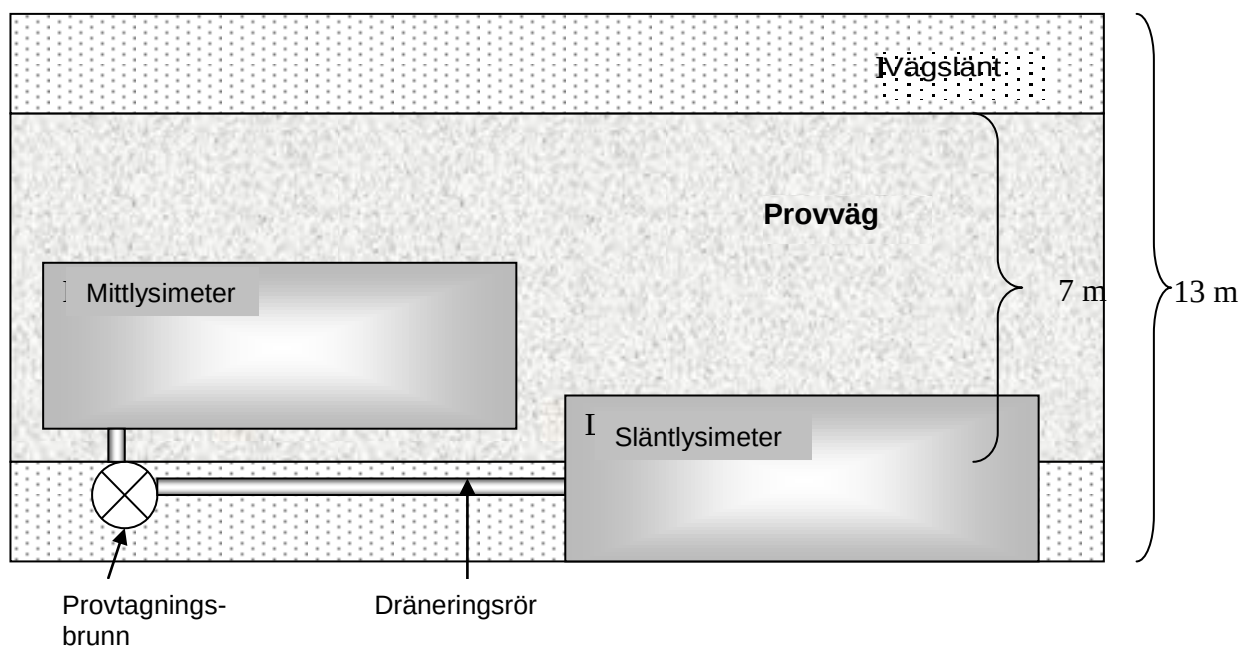
Figure 10. Dåva test road, original installation of groundwater pipes within and along the road (after [12]).

Lysimetrarna var gjorda av plastduk, typ HDPE, med en area av 2 x 15 m (Figur 11). I varje sträcka hade lagts en duk mitt under vägen, kallad mittlysimeter, och en duk under vägkanten och vägslänten, kallad släntlysimeter (Figur 12).



Figur 11. Dåvavägen hösten 2001, utlagd lysimeter i en av sträckorna.

Figure 11. Dåva test road in autumn 2001, lysimeter in one of the road sections.

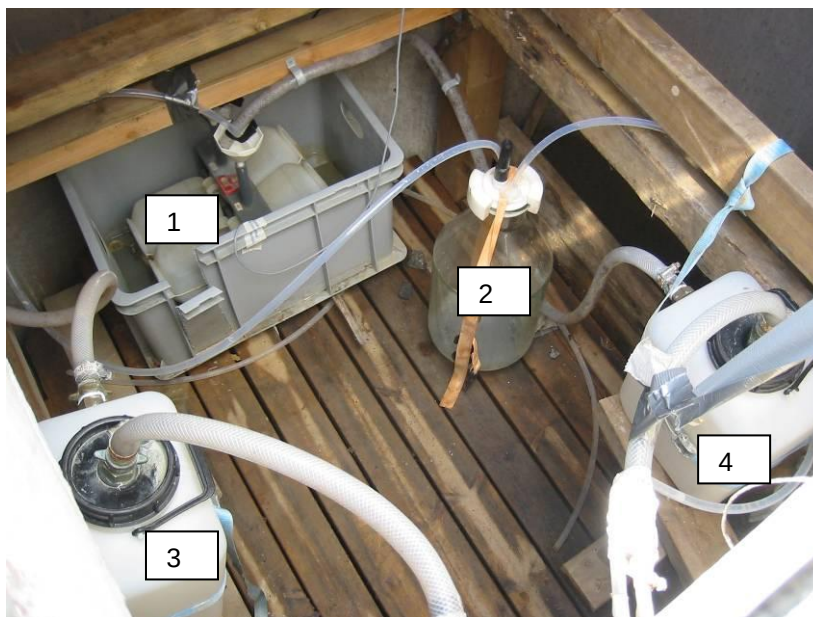


Figur 12. Dåvavägen, princip för lakvattenuppsamling (efter [12]).

Figure 12. Dåva test road, principle of leachate collection (after [12]).

Från lysimetrarna leddes lakvattnet i markavloppsrör av PVC med diameter 110 mm till uppsamlingsbrunnar av 1600 mm betongrör. I brunnarna hade byggts ett trädäck för uppsamlingsutrustningen (Figur 13). För analys av organiska ämnen hade installerats ett

lufttätt arrangemang med teflonslang (diam 19 mm) till en 10 l glasflaska med bräddavlopp via vattenlås till vippflödesmätare. För analys av oorganiska ämnen hade installerats motsvarande uppsamling med polypropylenslang (med en mässingskoppling) och 5 l polyetenkärl, med bräddavlopp till vippflödesmätare. All uppsamling fungerade med självfall. Från lysimetrarna under vägmitt hade vattnet fördelats så att ca 50 % av flödet gick till vardera glas- respektive plastflaskan (för organiska resp oorganiska analyser). Från lysimetrar ut mot vägslänten samlades allt vatten i plastdunkar och endast oorganiska ämnen analyserades.

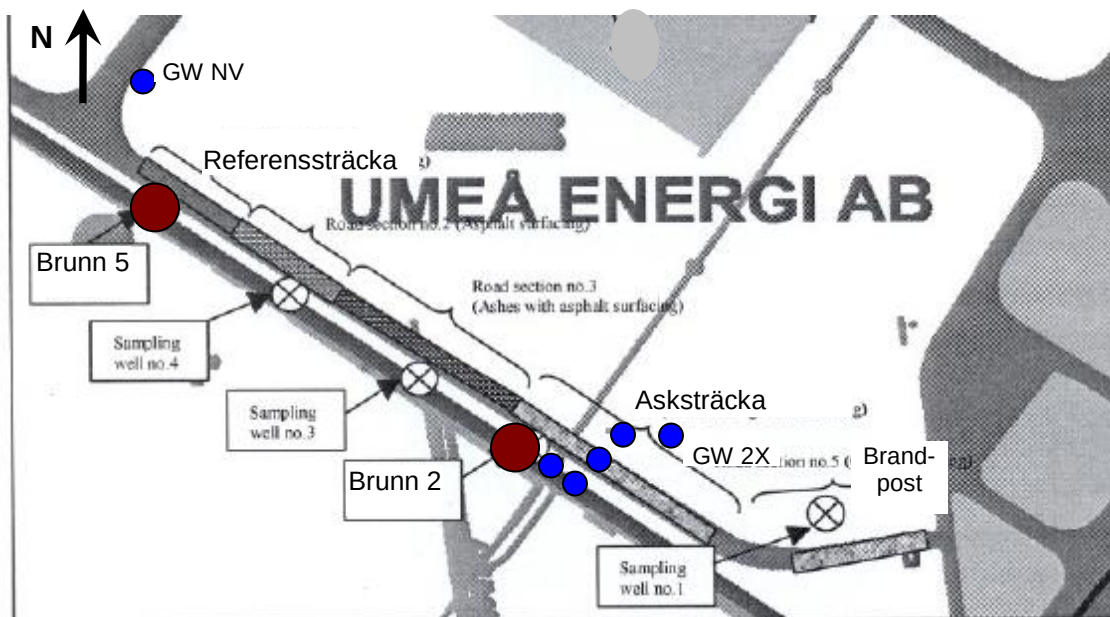


*Figur 13. Dåvavägen, ursprunglig installation av uppsamlingskärl i provtagningsbrunnar [12].
1 Vippflödesmätare, 2 Glasflaska för lakvattenuppsamling för analys av organiska föroreningar, 3 och 4 Plastdunk för lakvattenuppsamling för analys av oorganiska föroreningar.*

*Figure 13. Dåva test road, original arrangement of leachate collection in sampling wells [12].
1 Flowmeter, 2 Glass bottle for collection of leachate for analysis of organic compounds, 3 and 4 Plastic can for collection of leachate for analysis of inorganic compounds.*

4.3 Provtagning av grund- och lakvatten vid Dåvavägen

Uppföljning av miljöpåverkan från provvägen i Dåva omfattade provtagning och analys av grundvatten och lakvatten vid två av de anlagda sträckorna. Som provsträcka användes den grusbelagda sträckan med aska i förstärkningslagret, sträcka nummer 4, och som referenssträcka användes den grusbelagda sträckan med bergkross i förstärkningslagret, sträcka nummer 1 (Figur 6 och Figur 14). Sträckorna kallas i fortsättningen för asksträckan och referenssträckan.



Figur 14. Dåvavägen, översikt över aktuella provtagningsbrunnar och grundvattenrör (efter [12]).

Figure 14. Dåva test road, overview of sampling wells and groundwater pipes monitored (after [12]).

Vattenprovtagning utfördes vid fyra tillfällen, i juli 2006, i juni och oktober 2007 samt i april 2008. Ingen flödesmätning utfördes under projektiden. Vid grundvattenprovtagningen och en del av lakvattenprovtagningarna gjordes även fältmätningar av vissa parametrar hos vattnet.

Förberedelser i maj 2006 (foton sid 61)

Den 26 maj gjordes fältbesök med inspektion av brunnar, fotografering och omsättning av grundvattenrör. Då noterades att det stod vatten på botten i brunnarna vid asksträckan och sträcka 2 (asfaltbelagd referenssträcka) och att flera väggplankor hade lossnat i brunnen vid asksträckan. Glasflaskan i brunnen vid referenssträckan var tom och glasflaskan i brunnen vid asksträckan hade lossnat från lysimeterslangen och vält. Alla plastdunkar var borta (borttagna av LTU vid tidigare projekts slut). Till glasflaskorna ska komma vatten från lysimetern under vägmitt för analys av organiska föroreningar. Till plastdunkarna ska komma vatten från släntlysimetern och vägmittlysimetern för analys av oorganiska föroreningar.

Vid fältbesöket noterades också att utbyggnadsarbeten hade utförts på området i direkt anslutning till provvägen. Enligt Henrik Bristav, Umeå Energi, berodde detta på att en ny panna för eldning av biobränsle var under byggnad och därför behövde en ny yta med upplagsplatser för bränsle och restprodukter anläggas. Upplagsytan var planerad att ligga längs med provvägens sydvästra sida (Figur 48). I samband med detta hade ett nytt grundvattenrör satts vid den nordvästra änden av provvägen. Vid byggnadsarbetena hade diket längs provvägens sydvästra sida fyllts ut. Dessutom hade några av grundvattenrören vid asksträckan försvunnit.



Figur 15. Dåvavägen i maj 2006. Vänster: Samma vy som i Figur 2 med brunn 2 strax bakom bilen. Höger: Utfyllt dike vid brunn 2.

Figure 15. Dåva test road in May 2006. Left: The same view as in Figure 2 with sampling well 2 just behind the car. Right: Filled ditch close to sampling well 2.

I juni–juli lät Umeå Energi sätta två nya grundvattenrör söder om asksträckan i stället för de försvunna rören nr 1 och 3.

Provtagning i juli 2006 (foton sid 62–63)

Den 11–12 juli 2006 utfördes den första provtagningen. Det gamla grundvattenrör 4 och de nya rören 1 och 3 omsattes, provtogs och avvägdes och fältmätningar på vattnet utfördes (avsnitt 4.4). Det ursprungliga grundvattenrör 2, dvs. det gamla referensröret vid asksträckan, hittades inte. En asfalthög låg vid asksträckans norra sida och dölde förmodligen röret. I stället provtogs det nya grundvattenröret nordväst om referenssträckan. Senare noterades att detta nya rör (i denna rapport kallat "NV") inte var lämpligt som referensrör på grund av närheten till den befintliga restproduktshanteringsplanen. Ett annat grundvattenrör hittades senare norr om provvägen vid asksträckan och detta användes som referens vid de följande mätningarna. Det kallas för nytt grundvattenrör 2X i denna rapport.

Dagen före provtagning av lakvatten iordningställdes fältutrustningen (rena flaskor och nya dunkar installerades, men vippflödesmätare användes ej) och omfattande bevattning av vägen utfördes. Ytan på asksträckan och referenssträckan "ruggades upp" med grävmaskin och vattnades sedan med hjälp av slang och spridare med vatten från en brandpost belägen norr om den östra änden av provvägen. Bevattningen resulterade i översvämning i asksträckans brunn och fortsatt torka i referenssträckans brunn. Felsökning visade att

asksträckans brunnsutlopp var täppt (beroende på det omlagda diket enligt ovan) och att lysimeterläget i referenssträckan var felritat. Efter grävning av nytt utlopp vid asksträckan och lokalisering (via grävning) av släntlysimetern i referenssträckan (hittades mitt i vägen, ca 3–4 m nordväst om brunnen) gjordes en ny bevattning och därefter provtagning av lysimetervatten i de båda sträckorna. Mittlysimetern i referenssträckan hittades inte och gav heller inget vatten så även de organiska analyserna gjordes på släntlysimeterns vatten.

Fältmätningar (avsnitt 4.4) utfördes på lakvatten från asksträckans släntlysimeter.

Provtagning i juni 2007

Den andra provtagningen utfördes den 4 juni 2007. Vid samma tillfälle tog Luleå Tekniska Universitet prov för ett annat projekt. Samordningen gjordes för att kunna dela på det vatten som fanns i lysimetrarna eftersom man befarade att det kunde vara svårt att få ut tillräckligt mycket vatten. Vädret var mycket varmt och soligt, 25–30°C. Lufttrycket var 1028 hPa = 772,9 mm Hg. Markarbeten pågick i anslutning till platsen.

Grundvattenrör 1, 2X och 3 omsattes, provtogs och avvägdes och fältmätningar på vattnet utfördes. Grundvattenrör 4 i vägen var överlagrat av hårt packade massor och gick inte att hitta. Vattnet från rör 1 och 3 var klart och lättfiltrerat med god vattentillgång, medan vattnet från det nya referensröret, 2X, var mycket grumligt. Endast en liten mängd kunde filtreras i fält (mindre än 100 ml). Därför togs även prov på ofiltrerat vatten för att ha i reserv.

Vid fältmätningen av grundvatten tog det tid för pH-värdet att stabiliseras. pH avlästes därför senare än övriga parametrar. På grund av värmen steg temperaturen i provet snabbt vilket påverkade bland annat innehållet av löst syre (halten löst syre minskar vid högre temperatur). Två fältmätningar gjordes för grundvattenrör 1 och 3, men endast en för grundvattenrör 2X på grund av begränsad tillgång på vatten.

Lakvatten från asksträckan provtogs från mitt- och släntlysimetrarna. Prov för organiska parametrar togs i mittlysimeterns plastdunk eftersom glasflaskan var trasig. Flaskbotten hade lossnat, antagligen på grund av att flaskan fryst full med vatten. Fältmätning (avsnitt 4.4) utfördes på lakvatten från släntlysimeterns plastdunk (två prov mättes). Inget lakvatten från referenssträckan kunde provtas eftersom samtliga uppsamlingskärl i brunnen var tomma på vatten eller hade fryst sönder.

Provtagning i oktober 2007 (foton sid 64–65)

Den tredje provtagningen utfördes den 31 oktober 2007. Vädret var soligt och temperaturen strax över 0°C. Lufttrycket var 1008 hPa = 756 mm Hg. Markarbeten pågick på och i anslutning till platsen. Nya ytor hade anlagts, bland annat runt grundvattenrör 1 och 3 som tidigare låg i vägslänten. Grundvattenrören och provtagningsbrunnarna hade sparats och pågående markarbeten utgjorde inget hinder för provtagningen.

Grundvattenrör 1 och 3 omsattes, provtogs och avvägdes och fältmätningar på vattnet utfördes. Vattnet var först klart sedan lite grumligt. Grundvattenrör 2X stod öppet utan

lock och från detta rör togs inga prov eftersom det inte gick att få ner provtagaren i röret. Den klibbade mycket hårt fast till grundvattenrörets insida på grund av kondens. Samma problem i grundvattenrör 3 men detta rör var bredare och det gick att tvinga ner provtagaren med en stakkäpp. Grundvattenrör 4, i vägen, gick fortfarande inte att hitta.

Lakvatten från asksträckans mitt- och släntlysimetrar provtogs. Liksom i juni togs prov för organiska analyser från plastdunk ”mitt”. Plastdunk ”slänt” var överfull med vatten. I botten på dunken låg lite sand och i vattnet fanns vita flagor. Lakvatten från referenssträckan provtogs endast från släntlysimetern eftersom mittlysimeterns uppsamlingskärl var tomma på vatten. I båda brunnarna var botten täckt av 5–10 cm smutsigt vatten. I detta simmade material från tidigare provtagningar.

Fältmätning (avsnitt 4.4) utfördes på lakvatten från släntlysimetern vid referenssträckan och från både slänt- och mittlysimetern vid asksträckan (två prov mättes).

I samband med provtagningen monterades dunkar och lock ner och dunkarna togs hem för rengöring och vinterförvaring medan slangar lämnades kvar och märktes upp i den mån det behövdes.

Provtagning i april 2008 (foton sid 66)

Den fjärde och sista provtagningen utfördes den 17 april 2008. Vädret var soligt med temperaturen ca +8°C och lufttrycket 763,5 mm Hg. Mycket hade förändrats längs provvägen. En ny panna för biobränsleeldning hade byggts till värmeverket och provvägen var nu en del av en byggarbetsplats. Baracker hade placerats längs den ena sidan av vägen och betongbunkrar och konformade byggnader längs den andra sidan (Figur 16).



*Figur 16. Dåvavägen i april 2008. Vänster: Asksträckan i riktning mot nordväst.
Höger: Sträcka 3 riktning mot sydost.*

*Figure 16. Dåva test road in April 2008. Left: The ash section, view towards north west.
Right: Section 3, view towards south east.*

Det var inte så stora förändringar vid grundvattenrör 2X, men sly och högt gräs hade tagits ned och diket mellan grundvattenröret och vägen hade grävts ur. Grundvattenrör 1 och 3 och provtagningsbrunn 2 som låg i vägslänten låg nu i en plan på vilken upplagsplatser för bränsle och restprodukter skulle anordnas (Figur 17). Grundvattenrör 3 stack

upp men grundvattenrör 1 hade kapats och lagts under brunnslöck. Över brunnslöcket hade fyllnadsmassor lagts (troligen bara någon dm). Det gick inte att se röret men det skulle nog gå att gräva fram.



Figur 17. Dåvavägen i april 2008. Grundvattenrör 2X (vänster) och 3 (höger).

Figure 17. Dåva test road in April 2008. Groundwater pipes 2X (left) and 3 (right).

Asksträckans provtagningsbrunn (Figur 18), som låg knappt 20 m norr/väster ut längs vägen på samma sida som grundvattenrör 1 och 3, gick inte att se och enligt en ansvarig entreprenör på plats hade en av barackerna placerats ovanpå brunnen. Eventuellt kunde det gå att komma åt brunnen ett par veckor senare då några baracker skulle flyttas. Referenssträckans provtagningsbrunn, ca 150 m norr/väster ut längs vägen på samma sida som brunn 2, hade täckts med ett berg av grus och snö men borde gå att gräva fram (Figur 19).



Figur 18. Dåvavägen, asksträckan. Provtagningsbrunn 2 i oktober 2007 och i april 2008.

Figure 18. Dåva test road, the test section. Sampling well no 2 in October 2007 and in April 2008.



Figur 19. Dåvavägen, referenssträckan. Provtagningsbrunn 5 i oktober 2007 och april 2008

Figure 19. Dåva test road, the reference section. Sampling well no 5 in October 2007 and April 2008.

Grundvattenrör 2X avvägdes, omsattes och provtogs. Liksom tidigare var tillrinningen långsam och därför gjordes bara en fältmätning. Vattnet luktade organiskt/humus och var först klart men gult, sedan grumligt. Endast en liten mängd kunde filtreras i fält (ca 100 ml). Därför togs även prover på ofiltrerat vatten för att ha i reserv.

4.4 Vattenanalyser

De grundvattenprov och lakvattenprov som togs vid Dåvavägen analyserades i laboratoriet på samma sätt som i tidigare projekt [12].

Grundvatten

Samtliga grundvattenprov filtrerades i fält och analyserades i laboratoriet med avseende på följande oorganiska ämnen:

aluminium	bly	kalcium	kobolt	kvicksilver	molybden	svavel	klorid
arsenik	järn	kalium	koppar	magnesium	natrium	vanadin	sulfat
barium	kadmium	kisel	krom	mangan	nickel	zink	

Dessutom analyserades ofiltrerade prov med avseende på TOC. I samband med provtagningen gjordes fältmätningar av pH, temperatur, salinitet, redoxpotential, halten löst syre samt elektrisk konduktivitet. I samtliga fall användes mätinstrument YSI 650 MDS. Fältmätningarna utfördes i ett provkärl.

Lakvatten

Lakvattenproven skickades ofiltrerade till laboratoriet för analys med avseende på TOC och följande oorganiska ämnen:

aluminium	bly	kalcium	kobolt	kvicksilver	molybden	svavel	klorid
arsenik	järn	kalium	koppar	magnesium	natrium	vanadin	sulfat
barium	kadmium	kisel	krom	mangan	nickel	zink	

samt följande organiska föreningar: Fenol, kresoler och fjorton individuella alkylfenoler, ftalater, klorfenoler, alkansyror och alkensyror. De organiska ämnen som analyserades valdes ut med ledning av de laboratorie- och fältresultat som erhöles i det tidigare projektet [12] och den förstudie som föregick den [16].

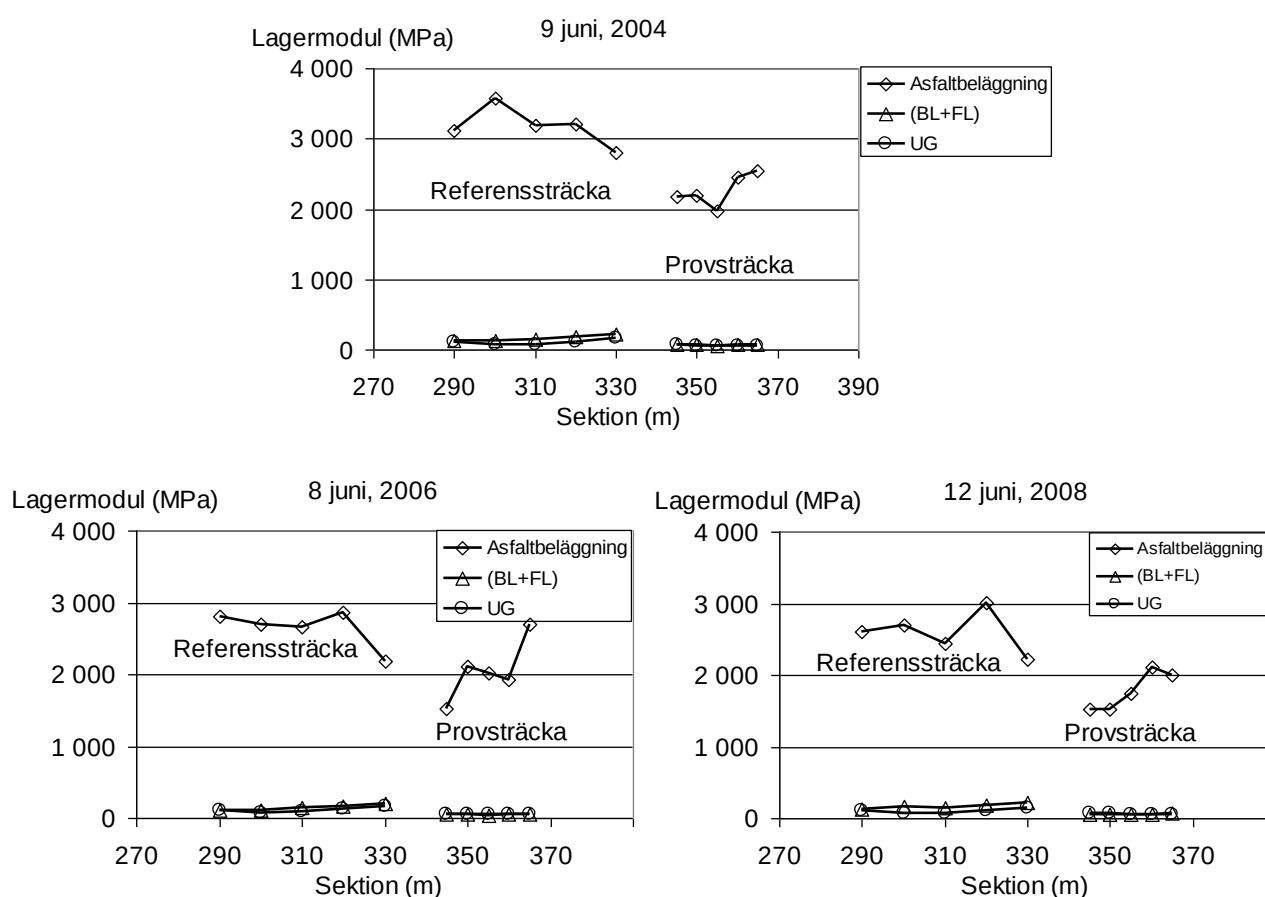
Där det var möjligt gjordes fältmätningar även på lakvattnet.

5 Resultat från fallviktsmätningar 2004, 2006 och 2008

Fallviktsmätningarna har utvärderats på samma sätt som vid de tidigare mätningarna. Det innebär att för Törringevägen redovisas de olika lagrens styvheter, så kallade lagermoduler, och för Dåvavägen redovisas ytmodul och medelmoduler för hela vägkonstruktionen.

5.1 Törringevägen

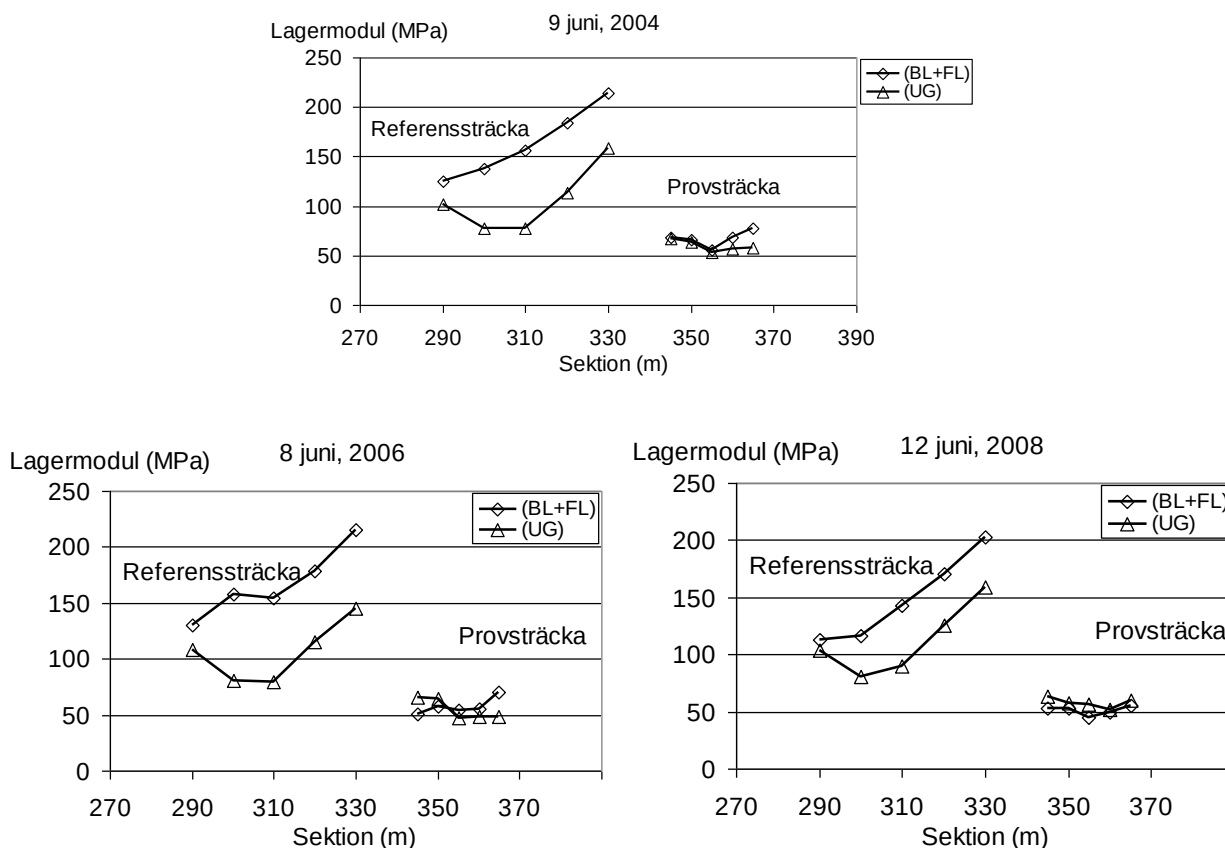
Under projekttiden har Törringevägen fallviktsmätts vid tre tillfällen, 9 juni 2004, 8 juni 2006 och 12 juni 2008. Både referens- och provsträcka har provbelastats i tio punkter – höger och vänster sida i fem sektioner. Liksom vid de tidigare mätningarna redovisas en gemensam lagermodul för det asfaltbundna lagret, en gemensam lagermodul för bärlager och förstärkningslager samt en lagermodul för undergrunden (Figur 20).



Figur 20. Törringevägen, styvhet 2004, 2006 och 2008. Lagermoduler för olika lager i referens- och provsträcka utvärderade från fallviktsmätning. BL+FL = bärlager + förstärkningslager och UG = undergrund. Medel av två punkter.

Figure 20. Törringevägen test road, stiffness in 2004, 2006 and 2008. Evaluated layer moduli of different layers in the reference structure and the test structure, from FWD measurements. BL+FL = base + sub-base and UG = subgrade. Mean value of two points.

Resultatet visar att det asfaltbundna lagret i referenssträckan är styvare än det i provsträckan. Eftersom styvheten hos det asfaltbundna lagret är så mycket större än hos de andra lagren särredovisas de senare i ett eget diagram (Figur 21). Då framgår det att referenssträckan är inhomogen i längdriktningen. Både undergrunden och bär- och förstärkningslagret är styvare i den östra delen. Lagermodulen för bär- och förstärkningslagret ökar från drygt 100 MPa i sektion 290 till drygt 200 MPa i sektion 330. I provsträckan har bär- och förstärkningslagret ungefär samma styvhet som undergrunden.

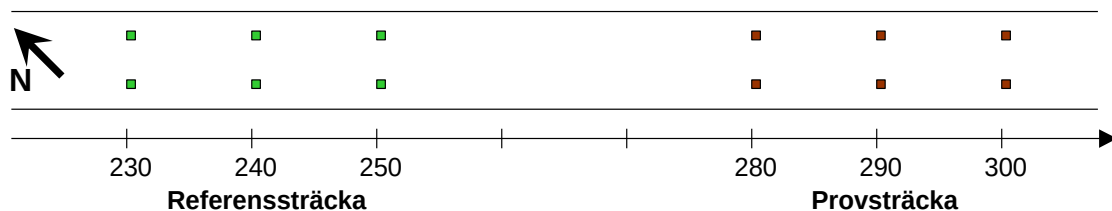


Figur 21. Detalj av Figur 20. Törringevägen, styvhet 2004, 2006 och 2008. Lagermodul för olika lager i referens- och provsträcka utvärderade från fallviktsmätning. BL+FL = bärlager + förstärkningslager och UG = undergrund.

Figure 21. Detail of Figure 20. Törringevägen test road, stiffness in 2004, 2006 and 2008. Layer modulus of different layers in the reference structure and the test structure, evaluated from FWD measurements. BL+FL = base + sub-base and UG = subgrade.

5.2 Dåvavägen

Under projektiden har de asfaltbelagda prov- och referenssträckorna på Dåvavägen fallviktsmätts vid två tillfällen, 7 september 2004 och 6 september 2006. Vid varje tillfälle har sex punkter provbelastats på varje sträcka – höger och vänster sida i tre sektioner (Figur 22).



Figur 22. Dåvavägen, mätpunkter för fallviktsmätning.

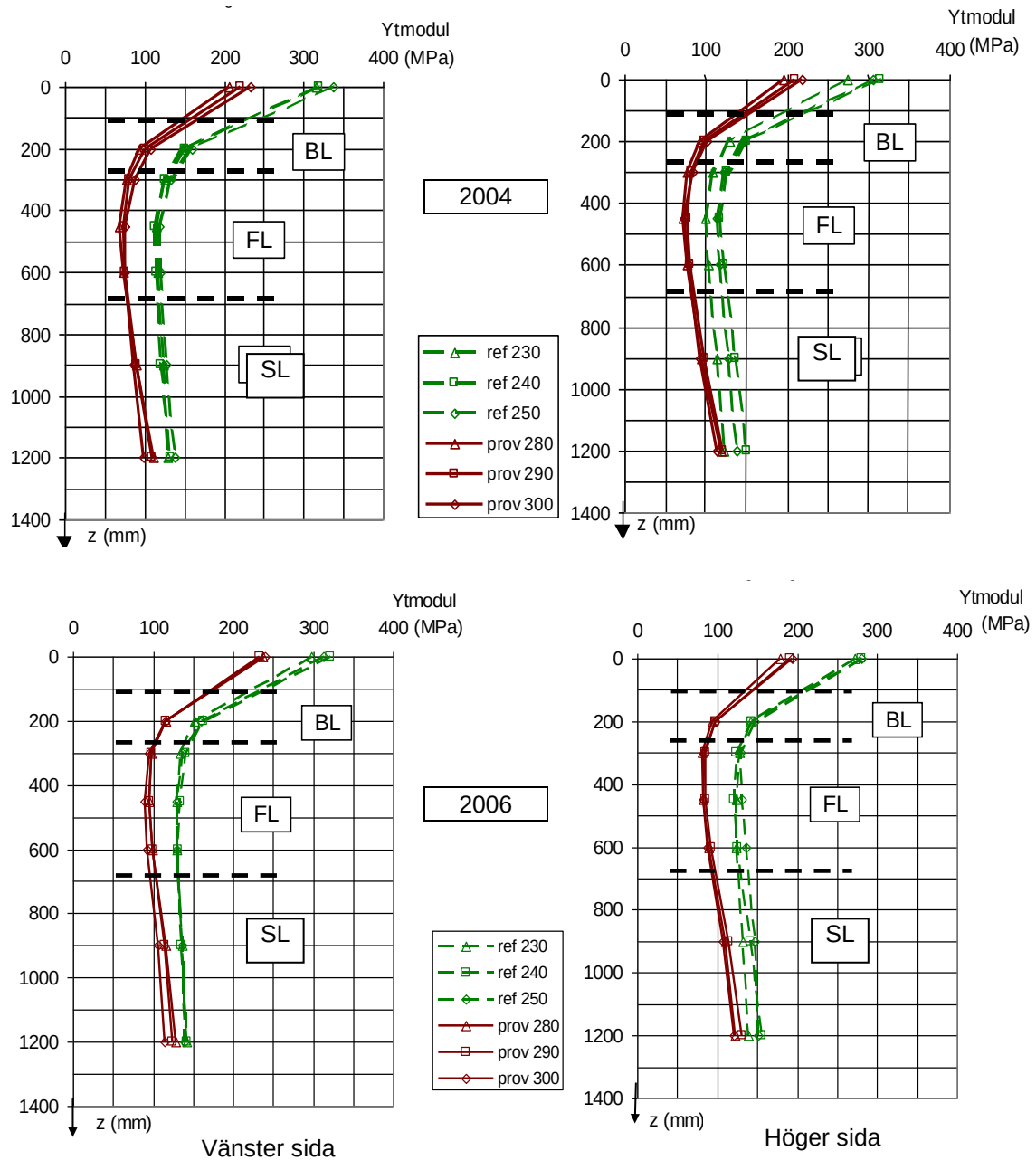
Figure 22. Dåva test road, positions for FWD measurement.

För varje punkt har ytmodulen beräknats. Den anger medelstyvheten för hela skiktet från ett angivet djup och nedåt (Figur 23). Det betyder att ytmodulen på nivån $z = 0$ mm representerar medelstyvheten för hela konstruktionen. På samma sätt representerar ytmodulen på djupet 110 mm medelstyvheten för hela konstruktionen från bärlagret och nedåt.

Resultatet från 2004 års mätning visade att medelstyvheten för referenssträckans konstruktion (ytmodulen vid nivån $z = 0$) varierade mellan 315 och 338 MPa på vänster sida och mellan 274 och 314 MPa på höger sida. Motsvarande siffror för provsträckans konstruktion var 207–234 MPa på vänster sida och 195–219 MPa på höger sida (Figur 23).

Vid mätningen 2006 var medelstyvheten 298–321 MPa för referenssträckans vänstersida och 272–281 MPa för dess högersida. För provsträckan var motsvarande siffror 233–240 MPa på vänster sida och 178–193 MPa på höger sida (Figur 23).

Vid båda mätningarna var förstärkningslagret det svagaste skiktet, speciellt i provsträckans högra del (Figur 23). Vid mätningen 2004 var höger sida i sektion 230 på referenssträckan mindre styv än resten av referenssträckan. Vid mätningen 2006 var denna inhomogenitet mindre tydlig.



Figur 23. Dåvavägen, medelstyhvet 2004 och 2006. Ytmoduler utvärderade från fallviktsmätning i tre sektioner på vänster respektive höger sida. Heldragna linjer representerar provsträckan och streckade linjer referenssträckan. BL = bärlager, FL = förstärkningslager, SL = skyddslager och undergrund.

Figure 23. Dåva test road, average stiffness in 2004 and 2006. Surface moduli evaluated from FWD measurement in three positions on left- and right-hand sides of the road respectively. The dotted lines represent the reference structure. BL = base, FL = subbase, SL = capping layer and subgrade.

6 Diskussion av fallviktsresultat

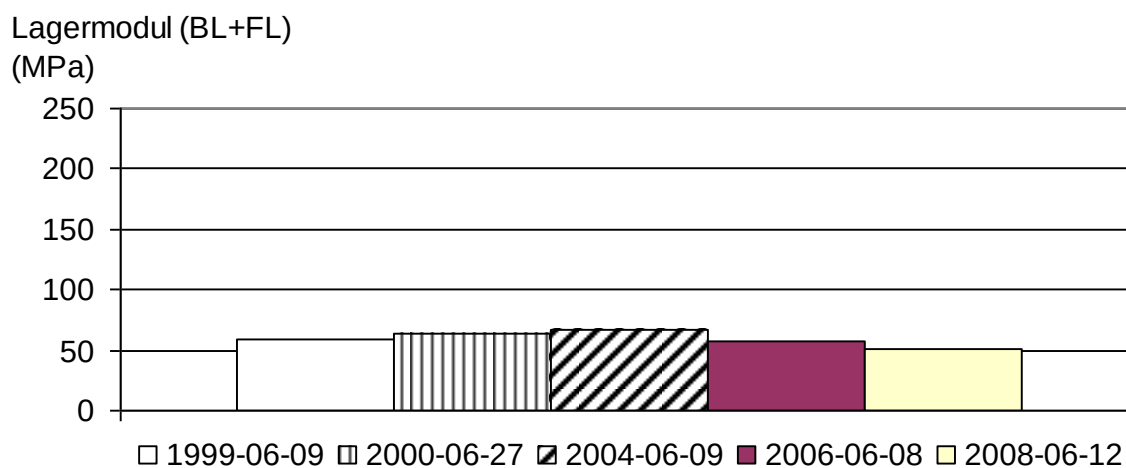
Resultatet har analyserats på två sätt som redovisas här:

- Slaggrussträckornas mätresultat från 2004, 2006 och 2008 jämfördes med tidigare års mätresultat för att visa styvhetsutvecklingen för provsträckorna (avsnitt 6.1 och 6.2).
- För varje år jämfördes slaggrussträckornas mätresultat med motsvarande värden och utveckling för naturmaterialet i referenssträckorna för att visa eventuella skillnader mellan slaggruset och naturmaterialet (avsnitt 6.3).

6.1 Styvhetsutveckling för provsträckan på Törringevägen

För att få en så lång mätserie som möjligt har projektresultaten kompletterats med mätvärden från 1999 och 2000 [1] [2]. På så sätt fås fem mätvärden fördelat över nio år. Den parameter som redovisas är lagermodulen för ett sammansatt lager bestående av 15 cm bärlager av bergkross och ca 46 cm förstärkningslager av slaggrus. Skälet till att de båda lagren slås ihop vid beräkning och redovisning är att alltför tunna lager ger osäkra resultat när lagermodulen itereras fram. Varje års värde är medelvärdet för tio mätpunkter.

Resultatet visar att slaggrusets styvhet är i stort sett oförändrad jämfört med mätningen 1999 (Figur 24). Modulvärdena är 59, 63, 67, 57 och 51 MPa, vilket innebär en svag ökning fram till det tredje mättillfället och därefter en svag minskning.



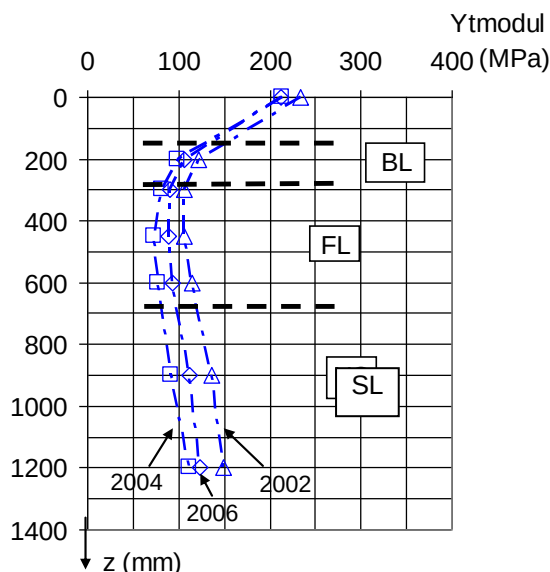
Figur 24. Törringevägen, provsträckans styvhetsutveckling. Lagermoduler för det kombinerade bär- och förstärkningslagret på provsträckan, utvärderade från fallviktsmätningar. Medelvärde av tio punkter. Provsträckan är uppbyggd enligt Figur 4. (Data från tidigare mätningar från [1] och [2]).

Figure 24. Törringevägen test road, stiffness change of the test structure. Layer moduli for the combined layer of base and sub-base in the test structure, evaluated from FWD measurements. Mean value of ten points. The test structure is designed according to Figure 4. (Data from earlier measurements from [1] and [2]).

6.2 Styvhetsutveckling för provsträckan på Dåvavägen

Projektresultaten har kompletterats med mätvärden från 2002 [2]. Det ger en mätserie med tre värden fördelat över fyra år. Den parameter som redovisas är beräknad ytmodul för hela provsträckan. Varje års värde är medelvärdet för sex mätpunkter.

Resultatet visar att styvheten var mindre vid mätningarna 2004 och 2006 än vid mätningen 2002. Det gällde samtliga skikt, men framför allt skyddslager och undergrund samt förstärkningslager (Figur 25).



Figur 25. Dåvavägen, provsträckans styvhetsutveckling. Ytmoduler utvärderade från fallviktsmätningar. Medelvärde av sex mätpunkter. Provsträckan är uppbyggd enligt Figur 7. BL = bärlager, FL = förstärkningslager, SL = skyddslager och undergrund. (Data från tidigare mätning från [2]).

Figure 25. Dåva test road, stiffness change of the test structure. Surface moduli evaluated from FWD measurements. Mean value of six points. The test structure is designed according to Figure 7. BL = base, FL = subbase, SL = capping layer and subgrade. (Data from earlier measurement from [2]).

6.3 Skillnad i styvhet mellan provsträckor och referenssträckor

Vid jämförelsen mellan prov- och referenssträcka har kvoten mellan sträckornas styvhet använts. Det innebär att styvheten för bär- och förstärkningslagret i provsträckan har jämförts med styvheten för bär- och förstärkningslagret i referenssträckan. För varje sträcka användes medelvärdet av alla mätpunkter. På samma sätt har övriga lagers styvhet jämförts med varandra. För Törringevägen användes lagermoduler och för Dåvavägen användes ytmoduler (Tabell 1).

Tabell 1. Törringevägen och Dåvavägen. Kvot mellan provsträckornas och referenssträckornas styvheter. BL = bärlager, FL = förstärkningslager, UG = undergrund. Resultat från fallviktsmätningar. Medelvärde av tio respektive sex mätpunkter. (Data från tidigare mätningar från [1] och [2].)

Table 1. Törringevägen and Dåva test roads. Ratio between stiffnesses of the test structures and the reference structures. BL = base, FL = sub-base, UG = subgrade. Results from FWD measurements. Mean value of ten or six points. (Data from earlier measurements from [1] and [2].)

Törringevägen, Malmö. Byggt 1998		Dåvavägen, Umeå. Byggt 2001	
Datum	Kvot mellan lagermoduler	Datum	Kvot mellan ytmoduler
1999-06	63% (asfaltbundet lager) 68% (BL+FL) 90% (UG)		
2000-06	68% (asfaltbundet lager) 64% (BL+FL) 82% (UG)	2002-09	78% (hela konstruktionen) 81% (BL+FL) 88% (UG inkl. skyddslager)
2004-06	71% (asfaltbundet lager) 41% (BL+FL) 57% (UG)	2004-09	69% (hela konstruktionen) 68% (BL+FL) 83% (UG inkl. skyddslager)
2006-06	78% (asfaltbundet lager) 34% (BL+FL) 52% (UG)	2006-09	72% (hela konstruktionen) 70% (BL+FL) 83% (UG inkl. skyddslager)
2008-06	69% (asfaltbundet lager) 34% (BL+FL) 52% (UG)		

6.3.1 Jämförelse mellan prov- och referenssträcka på Törringevägen

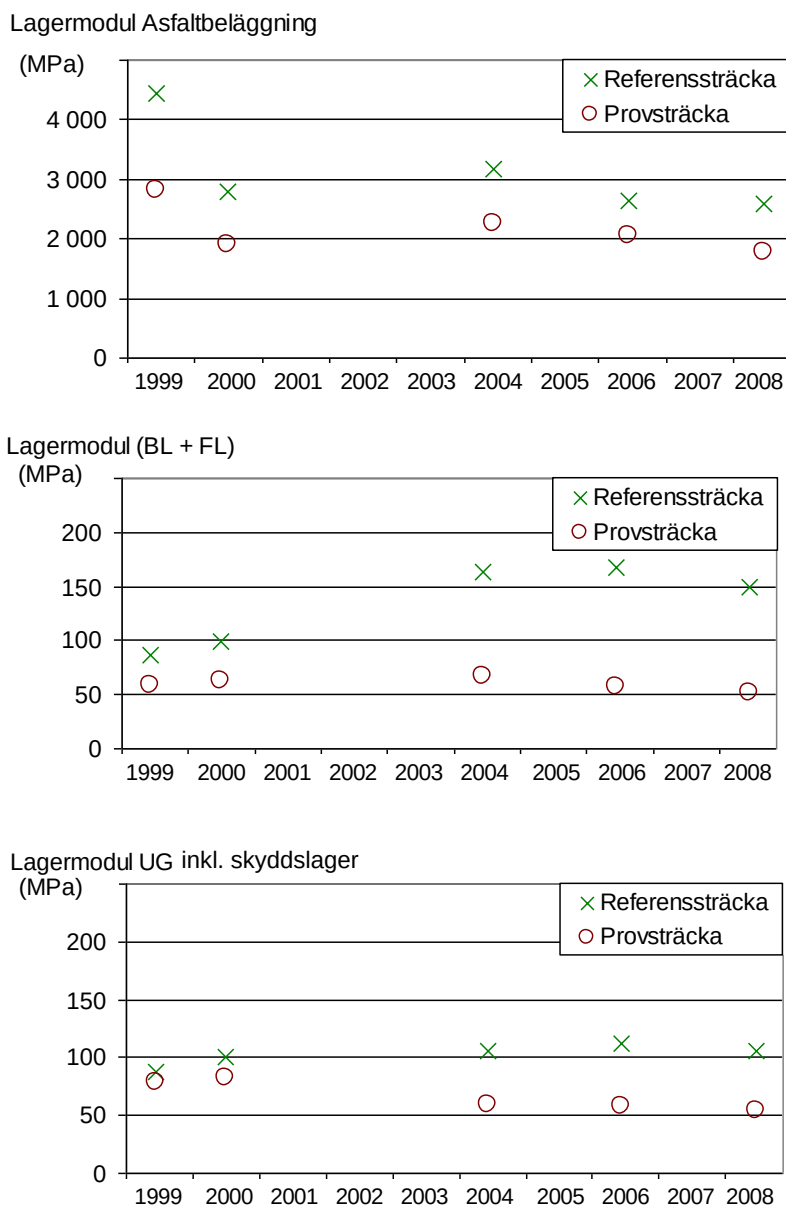
Vid de fem mätningarna under perioden 1999–2008 har styvheten hos provsträckans kombinerade bär- och förstärkningslager varit 68, 64, 41, 34 respektive 34 % av referenssträckans dito. Eftersom underliggande lager har inflytande på ett lagers styvhet vid belastning bör dessa siffror sättas i relation till hur kvoten mellan undergrunderna utvecklades. Förhållandet mellan dem var 90, 82, 57, 52 och 52 % (Tabell 1). Det betyder att från 1999 till 2004 minskade även kvoten mellan undergrunderna. Eftersom den kvoten minskade lika mycket som eller mer än kvoten mellan det kombinerade bär- och förstärkningslagret innebär det en svag ökning för slaggrusets styvhet i förhållande till referensmaterialets. Mätresultatet för 2006 innebar en liten minskning medan 2008 års mätning inte visade på någon förändring jämfört med 2006.

Det faktum att bärlagertjockleken skiljer mellan prov- och referenssträckan kan ha påverkat slutresultatet. Det mest troliga är att det sju cm tjockare bergkrosslagret i provsträckan verkar till slaggrussträckans fördel, det vill säga ökar styvheten.

Referenssträckan är dubbelt så lång som provsträckan, vilket inte har någon betydelse eftersom alla jämförelser görs mellan medelvärden för respektive sträcka. Däremot ger en längre sträcka större möjligheter till variation/inhomogenitet i längdled, vilket också var fallet för Törringevägen (Figur 20). Den markant ökade styvheten i den östra änden av referenssträckan har troligen en särskild förklaring. Ökningen återfinns i samtliga

mätresultat och kan sannolikt förklaras av en gammal väganslutning som ligger i sektion 330. Det är resterna av en utfart från en närliggande fastighet. Det är troligt att den även finns kvar inne i Törringevägen och ger en lokalt styvare vägkropp.

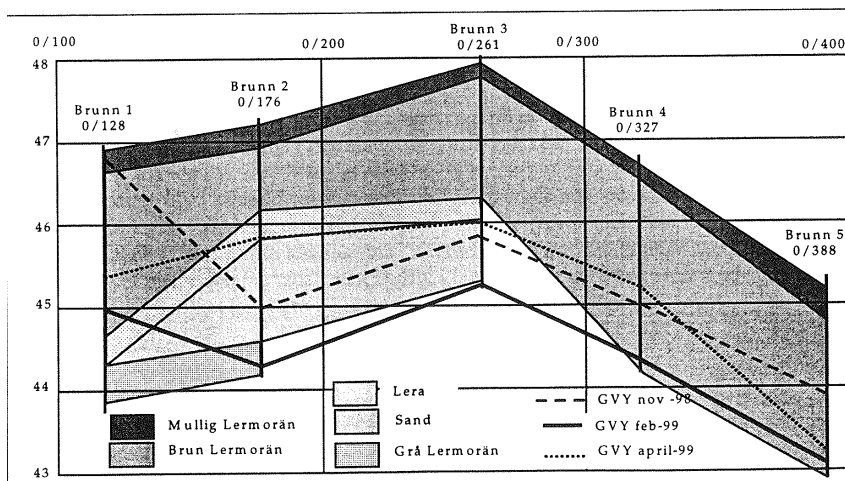
Styvhetsutvecklingen kan också studeras genom att styvheten plottas som funktion av tiden (Figur 26). Observera dock att mätdata representerar en ögonblicksbild vid belastningstillfället och att stora variationer kan ha ägt rum mellan de olika tillfällena.



Figur 26. Törringevägen, styvhetsutveckling för referenssträcka och provsträcka. Lagermoduler för tre olika lager som funktion av tiden, utvärderade från fallviktsmätningar. Sträckorna är uppbyggda enligt Figur 4. (Tidigare data från [1] och [2].)

Figure 26. Törringevägen test road, stiffness change of reference structure and test structure. Layer moduli for three different layers in the test road as a function of time, evaluated from FWD measurements. The structures are designed according to Figure 4. (Data from earlier measurements from [1] and [2].)

Det är tydligt att referenssträckan på Törringevägen hade högre styvhet 2008 än när vägen var nybyggd (Figur 26). Det gäller både bär- och förstärkningslagret (+71 %) och undergrunden (+20 %). Provsträckan fick också ökad styvhet fram till år 2004, men ökningen var inte lika stor och den gällde bara bär- och förstärkningslagret (+14 %). Undergrunden i provsträckan fick istället minskad styvhet (-24 %). Vad detta beror på är inte klarlagt. Möjligen kan topografin inverka. Provsträckan ligger i nedförslut nedanför referenssträckan och undergrunden i provsträckan kan därför vara mindre utsatt för uttorkning än undergrunden i övriga sträckor (Figur 27). Vattenkvoten i olika lager har inte kunnat kontrolleras vid mätstillfällena.



Figur 27. Törringevägen, geologisk profil (efter [8]).

Figure 27. Törringevägen test road, geological profile (after [8]).

Styvheten i de båda sträckorna borde ha stabiliserats nu efter tio år och de tre senaste mätningarna tyder också på det, även om en svagt neråtgående trend kan skönjas för provsträckans samtliga lager. Det vore intressant att se om även referenssträckans två senaste sjunkande värden är en sådan trend.

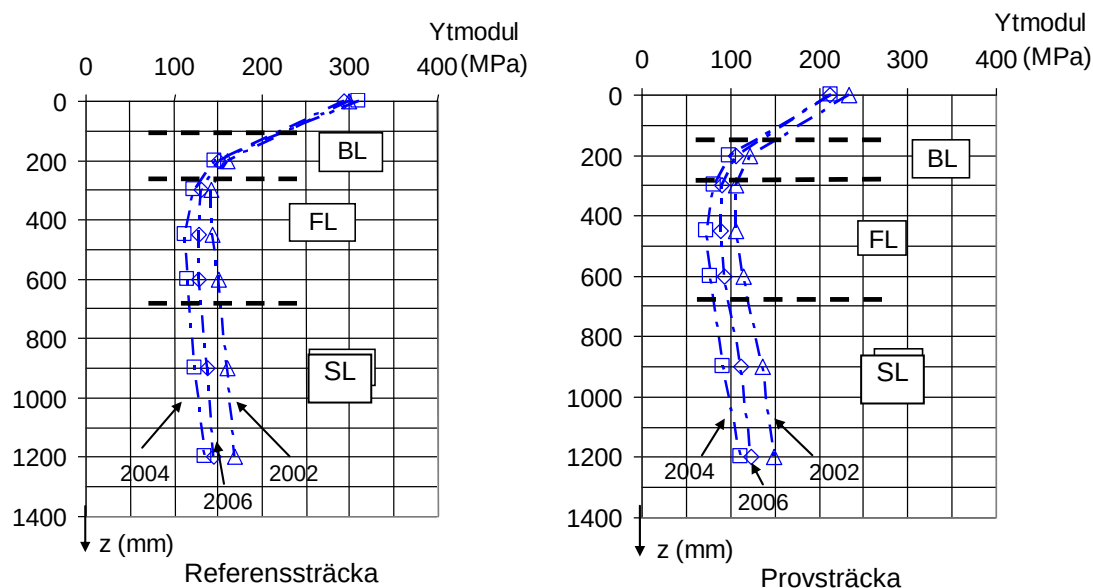
6.3.2 Jämförelse mellan prov- och referenssträcka på Dåvavägen

Förändring med tiden för sträckorna

Styvheten för referenssträckan och provsträckan har förändrats på liknande sätt under projektiden. Båda hade mindre styvhet vid 2004 och 2006 års mätning än vid mätningen 2002. Minskningen i styvhet gällde alla obundna lager i referenssträckan och både obundna och bundna lager i provsträckan (Figur 28).

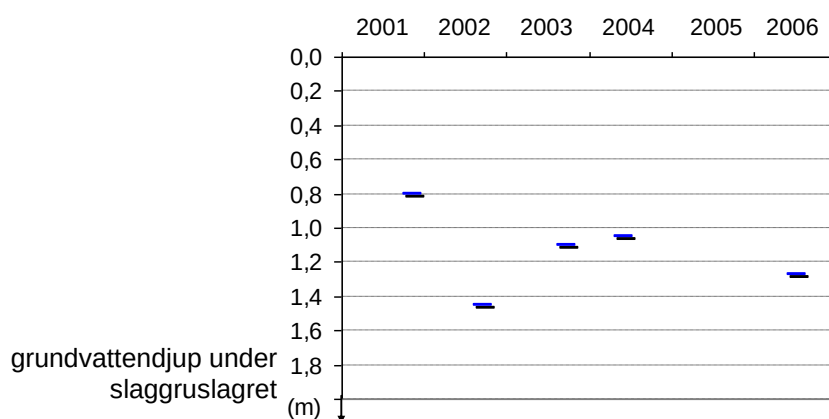
En tänkbar förklaring till detta kan vara vattentillgången i vägkroppen. Grundvattennivån har registrerats i flera rör i och omkring provvägen både tidigare [12] och i denna studie. Det rör som är närmast de här aktuella sträckorna är placerat i en angränsande sträcka, nr 4. Mätresultaten för detta rör antyder att vägkroppen var torrare vid mätningen 2002 än vid mätningarna 2004 och 2006 (Figur 29). Hösten 2001, när vägen byggdes och strax efter, noterades extremt höga ytvattenflöden vid vägen medan hösten 2003 var

mycket nederbördsfattig. I september 2003 och juli 2006 vattnades de obelagda sträckorna för att på konstgjord väg skapa infiltrerande vatten till lysimetrarna.



Figur 28. Dåvavägen, styvhetsförändring med tiden för asfaltbelagda sträckor med förstärkningslager av bergkross respektive slaggrus. Ytmoduler utvärderade från fallviktsmätningar. Medel av sex mätpunkter. Sträckorna är uppbyggda enligt Figur 7. BL = bärlager, FL = förstärkningslager, SL = skyddslager och undergrund. (Data från tidigare mätning från [2]).

Figure 28. Dåva test road, stiffness change over time for asphalt paved structures with subbase of crushed rock or MSWI gravel. Surface moduli evaluated from FWD measurements. Mean value of six points. The structures are designed according to Figure 7. BL = base, FL = subbase, SL = capping layer and subgrade. (Data from earlier measurement from [2]).

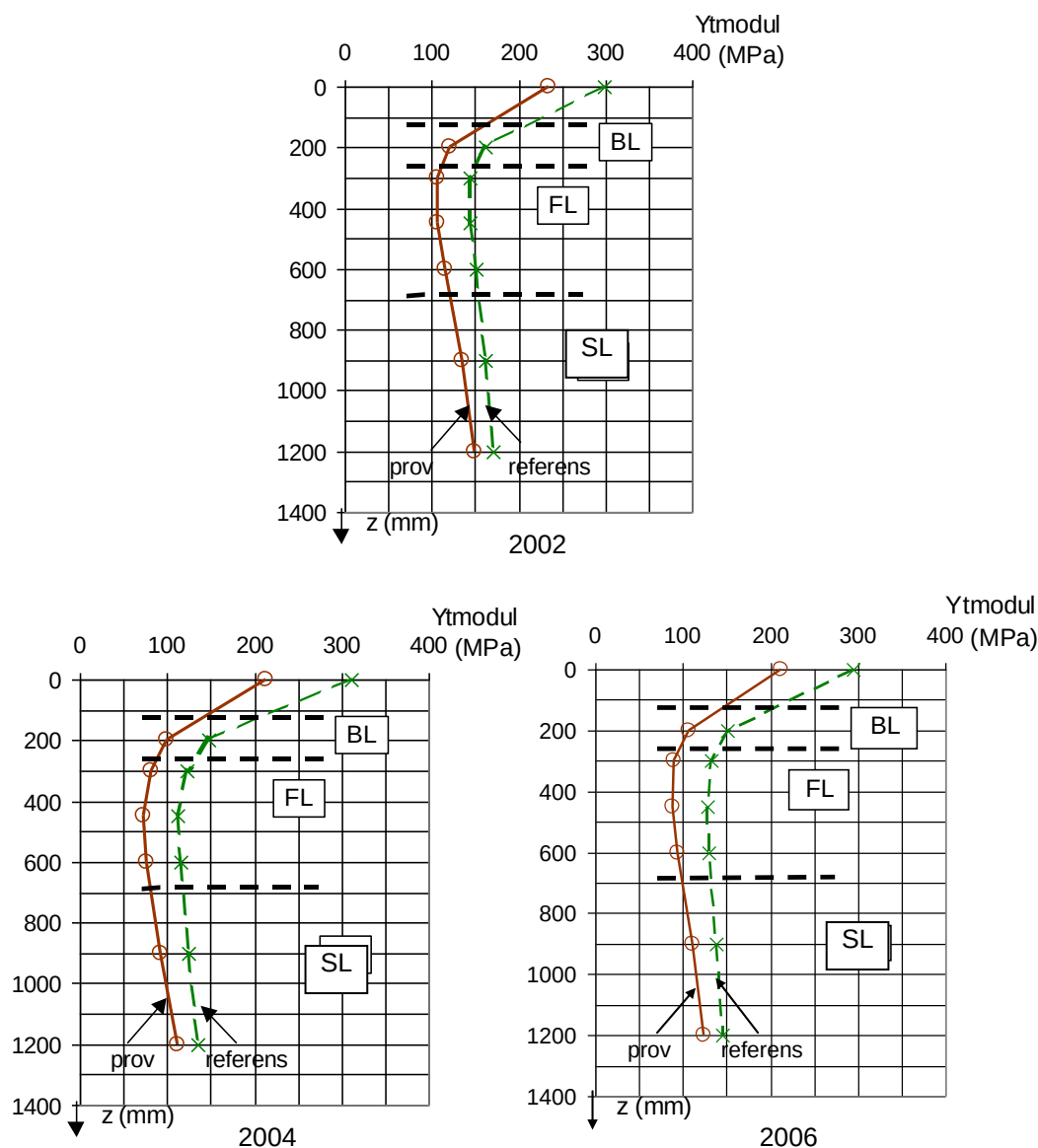


Figur 29. Dåvavägen, beräknat avstånd mellan grundvattenyta och underkant slaggruslager. Data för grundvattenrör nr 4 från denna studie och [12].

Figure 29. Dåva test road, calculated distance from groundwater level to bottom of MSWI gravel. Data for groundwater pipe no 4 from this study and [12].

Skilnad mellan sträckorna vid olika mättillfällen

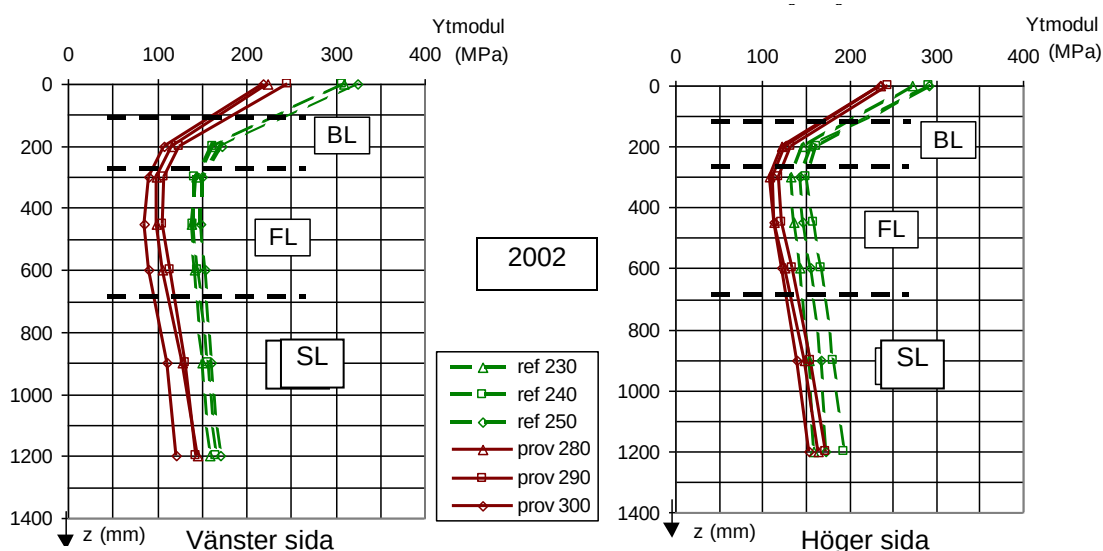
Enligt ovan hade båda sträckorna mindre styvhet vid de två senare mätningarna än vid mätningen 2002. Vid en detaljerad jämförelse av uppmätta styvhetsvärden framgår att provsträckans styvhet har minskat något mer än referenssträckans (Tabell 1). Den relativa skillnaden mellan de båda sträckorna är därför något större vid 2004 och 2006 års mätningar än vid mätningen 2002 (Figur 30).



Figur 30. Dåvavägen, styvhetsskillnad mellan asfaltbelagda sträckor med förstärkningslager av bergkross respektive slaggrus. Ytmoduler utvärderade från fallviktsmätningar. Medel av sex mätpunkter. Sträckorna är uppbyggda enligt Figur 7. BL = bärlager, FL = förstärkningslager, SL = skyddslager och undergrund. (Data för 2002 från [2]).

Figure 30. Dåva test road, stiffness difference between asphalt paved structures with sub-base of crushed rock and MSWI gravel. Surface moduli evaluated from FWD measurements. Mean value of six points. The structures are designed according to Figure 7. BL = base, FL = subbase, SL = capping layer and subgrade. (Data for 2002 from [2]).

Den relativa skillnaden mellan prov- och referenssträcka har ökat mest för den högra (södra) halvan av vägen. Det framgår när Figur 23 jämförs med Figur 31. Båda sträckorna har också fått mindre spridning för de olika mätpunkternas värden. De har alltså blivit mer homogena när det gäller styvheten i både längsled och tvärlängd vilket är en naturlig följd av den efterpackning som trafikeringen åstadkommer.



Figur 31. Dåvavägen, medelstyvhet 16 september 2002. Ytmoduler utvärderade från fallviktsmätning i tre sektioner på vänster respektive höger sida. Heldragna linjer representerar provsträckan och streckade linjer referenssträckan. BL = bärlager, FL = förstärkningslager, SL = skyddslager och undergrund. Data från [2].

Figure 31. Dåva test road, average stiffness on 16 September 2002. Surface moduli evaluated from FWD measurement in three positions on left- and right-hand sides of the road respectively. The dotted lines represent the reference structure. BL = base, FL = subbase, SL = capping layer and subgrade. Data from [2].

Vid mätningen 2002 varierade medelstyvheten för referenssträckans konstruktion (ytmodulen på nivån $z = 0$) mellan 308 och 325 MPa på vänster sida och mellan 272 och 291 MPa på höger sida. Motsvarande siffror för provsträckans konstruktion var 219–224 MPa på vänster sida och 235–245 MPa på höger sida.

I avsnitt 5.2 konstaterades att höger sida i sektion 230 på referenssträckan var mindre styv än resten av referenssträckan. Motsvarande skillnad återfinns i mätresultaten från 2002. En trolig orsak till detta är att i den sektionen och på den vägsidan finns en av de lysimetrar som användes för att studera miljöpåverkan från vägen. Ingen av de andra sektionerna på referenssträckan eller provsträckan berörs av någon lysimeter.

6.4 Styvhet och stabilitet

I båda provvägarna har slaggruset, med kornstorlek 0–50 mm, mindre *styvhet* än bergkrossmaterialet med kornstorlek 0–100 mm. Detta är naturligt med tanke på den mindre kornstorleken hos slaggruset [2].

Däremot finns det många bevis för god *stabilitet* hos slaggrus både vid utläggning och packning, tack vare en välgraderad kornstorleksfördelningskurva och kantiga partiklar, vilket brukar utmärka ett stabilt obundet material. Även vid laboratorieförsök har slaggruset god stabilitet, vilket visar sig som små permanenta deformationer vid belastning. I [2] visas att två olika slaggrusmaterial deformeras ungefär lika mycket som ett krossat granitmaterial vid låga och medelstora belastningar. Slaggrusmaterialen i den studien kom från samma anläggningar som har levererat material till provvägarna i den här studien, SYSAV i Malmö och Dåva i Umeå.

Den styvhetsökning som uppmätts på den äldre provvägen i Linköping har inte kunnat noteras på dessa vägar med slaggrus av ”modernare” typ. Det kan bero på att de modernare slaggrusmaterialen lagrats under en längre period innan användning. Linköpingsaskan lagrades bara ett par månader, vilket kan jämföras med sex månader i Dåva och ett par år i Törringe. Under lagringen äger kemiska reaktioner rum som stabiliserar den färska askan. En annan förklaring kan vara att askan som användes i provvägen i Linköping troligtvis även innehöll en del cyklonaska som med sitt kalkinnehåll ger stabiliserande egenskaper och styvhetsökning.

I Vägverkets metodbeskrivning för bearbetning av fallviktsdata [19] ges exempel på lagermoduler för olika material, både överbyggnadsmaterial och undergrundsmaterial. Där betonas också att för obundna material är lagermodulen beroende av vatteninnehåll och olika material är olika vattenkänsliga. Metodbeskrivningens exempel på lagermoduler avser otjälade förhållanden under sommar och höst. Lagermodulerna är också beroende av den spänningsnivå materialet utsätts för. De tabellerade värdena bygger på erfarenheter av fallviktsmätningar på vägytan av befintliga vägar, med beräkningar utförda efter antagande om ett styvt skikt tre meter under vägytan.

Vid en jämförelse visar det sig att de exempel som Vägverket ger för krossat förstärkningslagermaterial, 300–600 MPa, är mycket högre än de värden som erhållits för bergkrossmaterialet i Törringevägens och Dåvavägens referenssträckor, ca 175 MPa. Det kan till exempel bero på att materialet inte kunnat packas bra eller på att materialet inte varit normenligt.

Det kan diskuteras vilken typisk lagermodul som skulle kunna anges för slaggrus i en framtida version av dessa tabeller. Ett förslag som bygger på Törringevägen kan vara 75 MPa, men ytterligare uppföljning kan kanske ge ett annat värde.

6.5 Osäkerhetskällor i fallviktsresultat

Vid provbelastning med fallviktsapparat och utvärdering av fallviktsresultat kan en del osäkerhetskällor förekomma. I den här studien har dessa undvikits så långt som möjligt.

För vardera provvägen har samma utrustning använts vid alla mättillfällen och utvärderingen har gjorts med hjälp av samma lagermodell och samma lagertjocklekar. Mätningarna har utförts vid samma tid på året, men skillnader kan ändå förekomma mellan åren när det gäller temperatur eller vattentillgång i undergrunden. Samtliga mätningar har utförts enligt Vägverkets metodbeskrivning [18], till exempel har hänsyn tagits till lastens reella storlek och till temperaturen vid mättillfället.

För att undvika alltför tunna lager som kan ge osäkra resultat har det åtta cm tjocka bär-lagret på Törringevägens referenssträcka slagits ihop med det underliggande förstärkningslagret vid utvärderingen. För att få en rättvis jämförelse har även provsträckans bär- och förstärkningslager slagits ihop.

Eftersom asfaltbundna material är mycket styvare än obundna material har tjockleken på detta lager stor inverkan på mätresultatet. Asfaltlagret är också ofta tunt vilket gör att några centimeters variation får stor inverkan på de utvärderade lagermodulerna. Detta har stor betydelse när asfalttjockleken varierar eller skiljer mellan de sträckor som ska jämföras. I den här studien är projekterad asfalttjocklek 13 respektive 11 cm, vilket inte är så tunt att några speciella korrigeringsåtgärder behövs. Någon kontroll av verklig asfalttjocklek har emellertid inte gjorts.

Om mätning görs på mycket styva material blir deflektionerna mycket små och mätresultatet osäkert. I detta projekt har inga sådana problem varit aktuella.

Själva utförandet och kontrollen av byggnadsarbetena skulle i båda provobjekten följa Vägverkets gällande tekniska beskrivning för vägar. I Törringe gjordes dock en utökad kontroll av ytornas jämnhet och packning och de obundna lagrens tjocklek [8].

Förutom tjockleksvariationer förekommer sannolikt också variationer i de olika lagrens egenskaper, till exempel i undergrunden.

7 Resultat och diskussion av grundvattenanalyser, Dåvavägen 2006–2008

7.1 Fältmätningsdata för grundvatten

Vid varje tillfälle som grundvattnet provtogs gjordes också fältmätningar av vissa parametrar hos vattnet samt avvägning av grundvattennivåer. Fältmätningen av pH, temperatur, salinitet, redoxpotential, halten löst syre samt elektrisk konduktivitet i de olika grundvattenrören gav nedanstående resultat (Tabell 2). Grundvattenrörens placering framgår av Figur 10 och Figur 14 och avvägda grundvattennivåer framgår av Tabell 3.

I juli 2006 hade grundvattenrör NV högt pH, hög salinitet, lågt redox och hög konduktivitet, vilket kan förklaras av närheten till deponiområdet. Röret är placerat mellan referenssträckan och värmeverkets behandlingsyta för avfall och aska (Figur 14). Färsk aska hade troligtvis förorenat vattnet i detta rör och det beslöts att inte använda det som referensrör mer. I oktober 2007 hade pH och konduktivitet ökat i grundvattenrör 1. I rör 3 hade konduktiviteten ökat markant.

Tabell 2. Dåvavägen, resultat från fältmätning på grundvatten 2006–2008. Skuggade värden kommenteras i texten.

Table 2. Dåva test road, results from field measurements of groundwater 2006–2008. Highlighted values are commented in the text.

Rör* nr	pH				Temperatur °C				Salinitet (ppt)				
	Datum:	060711	070604	071031	080417	060711	070604	071031	080417	060711	070604	071031	080417
1 (1)		6,17	6,53	7,6		13,26	12,26	6,88		0,83	0,40		
1 (11)			6,50	7,41			11,28	7,24			0,40		
NV (NV)		9,74				14,87				8,72			
NV(NNV)		10,48				14,41				8,87			
2X			6,10		6,31		15,39		6,96		0,10		0,11
3 (3)		6,32	6,67	6,95		11,06	12,22	7,46		0,69	0,66		
3 (33)		5,77	6,57	6,94		10,39	9,53	7,70		0,70	0,69	6,06	
4 (4)		6,40				9,97				0,74			
4 (44)		7,61				14,06				0,49			

Rör* nr	Redoxpotential (mV)				Löst syre, DO _{sat} (%)				Konduktivitet (mS/m)				
	Datum:	060711	070604	071031	080417	060711	070604	071031	080417	060711	070604	071031	080417
1 (1)		91,5	-7,3	-15,8		58,6	63,4	51,5		163,5	81,2	366,6	
1 (11)			-4,0	-16,7			78	71,6			80,2	388,0	
NV (NV)		-278,7				103,9				1492,0			
NV(NNV)		-187,5				32,3				1516,0			
2X			30,6		11,4		83,6		48,6		20,1		23,0
3 (3)		85,3	-15,6	92,2		65,5	63,4	80,7		137,2	130,8	1037,3	
3 (33)		95,1	22,7	81,7		25,5	77,1	64,5		138,7	135,9	1068,3	
4 (4)		39,1				102,8				146,0			
4 (44)		-81,3				122,6				98,9			

* (Y) innebär första mätningen. (YY) innebär andra mätningen

Kontrollen av grundvattenytor visade att grundvattennivån i rör 3 var något högre i juni 2007 än i juli 2006 (Tabell 3). I oktober 2007 hade marknivån höjts runt grundvattenrör

1 och 3 och rör 1 hade troligen kapats. Rörtoppen låg nu en bit under nuvarande marknivå och hade täckts över med ett brunnsluck (Figur 32). För att ändå kunna jämföra med tidigare mätningar användes den tidigare marknivån för rör 3. För rör 1 antogs att avståndet mellan röröverkant och markyta var 0,10, men för att få ett exakt värde att jämföra med behövs uppgifter om hur mycket markytan har höjts. Grundvattennivån hade sjunkit i rör 2X och 3 jämfört med mätningen i juni medan den hade höjts i grundvattenrör 1, men denna mätning var mer osäker.

Tabell 3. Dåvavägen, resultat från avvägning av grundvattenrör 2006–2008.

Table 3. Dåva test road, results from levelling of groundwater pipes 2006–2008.

Grundvattenrör	Grundvattennivå (m under markytan)				
	060711	060711 ^{*)}	070604	071031	080417
1	0,93	+30,65	0,85	1,0	–
NV	1,76	+31,91	–	–	–
2X	–	–	1,27	1,76	1,37
3	2,04	+30,97	1,85	1,5	–
4	1,66	+30,04	–	–	–

*) Grundvattennivå enligt tidigare känd höjd på rör 4.



Figur 32. Dåvavägen i oktober 2007. Vänster: Grundvattenrör 1 och 3 som ursprungligen sattes i den södra vägs slänten. Höger: Grundvattenrör 1 är kapat och täckt med ett brunnsluck.

Figure 32. Dåva test road in October 2007. Left: Groundwater pipes 1 and 3, originally placed in the southern road slope. Right: Groundwater pipe 1 is cut.

7.2 Resultat från laboratorieanalys av grundvatten

Grundvattnet provtogs vid fyra tillfällen under perioden 2006–2008 och innehållet av oorganiska ämnen och TOC analyserades. Av olika skäl kunde inte alla fem rören provtas vid samtliga tillfällen. I Tabell 4 redovisas analysresultaten.

Från fältmätningen i juli 2006 drogs slutsatsen att vattnet i grundvattenrör NV var förorenat. Även laboratorieanalyserna, med höga halter av klorid och flera metaller, tydde på detta (Tabell 4). Aluminiumhalter upp till 20 mg/l kan fås naturligt i grundvatten om pH sjunker under pH 5 [13]. I grundvattenrör NV var dock pH mycket högre än så, ca 10 och aluminiumhalten var 33 mg/l. Kopparhalter upp till 1,2 mg/l kan nås i vatten i kopparledning som stått över natt [13]. Rör NV hade ca 0,6 mg/l. Beslutet att inte använda detta rör som referensrör var alltså riktigt.

I juli 2006 hade rör 4 höga halter av aluminium och mangan vid provtagningen. I oktober 2007 hade provet från grundvattenrör 3 mycket högre halter av kalium, natrium, koppar, molybden och klorid än tidigare och provet från rör 1 hade mycket högre kloridhalter än vid tidigare provtagningar. Mellan juni 2007 och april 2008 ökade halten, kadmium, koppar, zink och TOC mest bland analyserade ämnen i vattnet från rör 2X.

Tabell 4. Dåvavägen, analysresultat för grundvatten provtaget 2006–2008 från grundvattenrör 1, NV, 2X, 3 och 4. Skuggade värden kommenteras i texten.

Table 4. Dåva test road, results of groundwater analyses. Samples from 2006–2008 from groundwater pipes 1, NV, 2X, 3 and 4. Highlighted values are commented in the text.

Ämne	Enhet	Grundvattenrör 1			Rör NV	Rör 2X		Grundvattenrör 3			Rör 4
		060711	070604	071031	060711	070604	080417	060711	070604	071031	060711
Ca	mg/l	235	117	253	257	12,5	11,3	123	160	349	95
Fe	mg/l	0,0268	18	6,8	<0,004	28,5	25,4	41,6	26,5	0,984	221
K	mg/l	25	8,44	63,1	578	6,3	8,68	7,86	9,72	224	13,7
Mg	mg/l	23,8	10,1	14,9	<0,5	3,36	2,71	18,2	20,4	20,8	19,1
Na	mg/l	66,9	24,9	501	3150	6,88	7,16	90,1	73,8	1810	70,5
S	mg/l	132	53,8	135	104	1,3	1,18	105	116	225	179
Si	mg/l	12	14,9	10,9	0,956	34,8	26,9	14,3	11,2	5,54	16
Al	µg/l	6,25	47	51,3	32800	1770	1060	528	141	126	589
As	µg/l	1,02	<1	<10	<20	2,49	<1	1,36	<1	<20	3,29
Ba	µg/l	125	46,6	184	204	30,8	37,3	82,8	31,7	112	56,3
Cd	µg/l	0,634	0,377	0,739	<0,2	<0,05	0,185	0,993	1,52	2,18	<0,05
Co	µg/l	13	8,7	10	0,251	0,856	0,604	17,3	23,2	15,7	1,56
Cr	µg/l	<0,5	0,722	<0,5	1,94	4,53	3,97	<0,5	<0,5	1,73	3,09
Cu	µg/l	18,7	1,9	66,3	595	1,24	3,21	10,9	7,44	96,5	<1
Hg	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,0204	<0,02
Mn	µg/l	1420	1630	1950	5,59	220	195	1970	2610	1480	4600
Mo	µg/l	10,9	1,46	24,5	672	<0,5	<0,5	<0,5	1,43	163	6,33
Ni	µg/l	37,4	33,8	33,2	32,7	4,06	11,6	41,6	83	65,5	23
Pb	µg/l	<0,2	<0,2	0,507	<0,2	0,815	1,32	<0,2	<0,2	0,504	0,222
V	µg/l	0,792	0,606	0,474	4,41	11,1	8,01	0,126	0,152	2,96	5
Zn	µg/l	294	610	682	<2	19,4	51,3	258	892	440	46,1
klorid	mg/l	120	60,4	923	5900	120	13	230	181	3540	120
sulfat	mg/l	360	155	393	200	9,6	<5	300	333	593	340
TOC	mg/l	11	10,1	9,2	100	10,4	101	5,8	6,5	19,9	28

8 Resultat och diskussion av lakvattenanalyser, Dåvavägen 2006–2008

8.1 Fältmättningsdata för lakvatten

Vid några av provtagningstillfällena för lakvatten gjordes också fältmätningar av vissa parametrar hos vattnet. Fältmätningen av pH, temperatur, salinitet, redoxpotential, halten löst syre samt elektrisk konduktivitet i de båda sträckornas lysimetervatten gav nedanstående resultat (Tabell 5). Mätningarna i juli 2006 gav några orimliga värden och troligtvis var det för lite vattenmängd som provtogs. I oktober 2007 hade pH sjunkit och redoxpotential och konduktivitet ökat i lakvattnet till asksträckans släntlysimeter.

Tabell 5. Dåvavägen, resultat från fältmätning på lakvatten 2006–2007. Provtagningsbrunn nr 2 vid asksträckan och brunn nr 5 vid referenssträckan. iu = ej analyserat på grund av vattenbrist.

Table 5. Dåva test road, results from field measurement of leachate 2006–2007. Sampling well no 2 at the test structure and well no 5 at the reference structure. iu = not analysed due to lack of water.

Sträcka ^{*)}	pH			Temperatur °C			Salinitet (ppt)		
Datum:	060712	070604	071031	060712	070604	071031	060712	070604	071031
Asksträcka slänt (2)	7,05	10,8	8,79	28,42	17,0	5,22	0	0,35	0,46
Asksträcka slänt (22)	10,39	10,83	8,80	28,57	15,7	5,50	0	0,37	0,47
Asksträcka mitt (2)	iu	iu	7,71	iu	iu	5,23	iu	iu	1,05
Asksträcka mitt (22)	iu	iu	7,75	iu	iu	5,38	iu	iu	1,06
Referenssträcka slänt (5)	iu	iu	7,42	iu	iu	5,07	iu	iu	0,85
Referenssträcka slänt (55)	iu	iu	7,45	iu	iu	3,80	iu	iu	0,85

Sträcka ^{*)}	Redoxpotential (mV)			Löst syre, DO _{sat} (%)			Konduktivitet (mS/m)			
	Datum:	060711	070604	071031	060711	070604	071031	060711	070604	071031
Asksträcka slänt (2)		172,8	37,7	184,0	99,1	103,0	104,1	0	71,0	94,1
Asksträcka slänt (22)		41,1	40,4	180,1	95,3	114,6	98,2	0	74,5	94,7
Asksträcka mitt (2)		iu	iu	240,1	iu	iu	106,5	iu	iu	206,5
Asksträcka mitt (22)		iu	iu	235,0	iu	iu	111,8	iu	iu	207,7
Referenssträcka slänt (5)		iu	iu	251,4	iu	iu	108	iu	iu	167,3
Referenssträcka slänt (55)		iu	iu	248,1	iu	iu	112,1	iu	iu	169,6

^{*)} (Y) innebär första mätningen. (YY) innebär andra mätningen.

8.2 Oorganiska ämnen i lakvattnet

Flertalet av de analyserade ämnena hade högre halt i lakvattnet till referenssträckans släntlysimeter än i vattnet till asksträckans släntlysimeter. De ämnen som hade signifikant högre halt i lakvattnet till asksträckans släntlysimeter var natrium, molybden och klorid (Tabell 6).

Tabell 6. Dåvavägen, analysresultat för lakvatten provtaget 2006–2007 från asksträckans och referenssträckans släntlysimer samt det använda bevattningsvattnet. iu = ej analyserat på grund av vattenbrist. Skuggade värden är mer än tio gånger högre än motsvarande värde för den andra sträckan.

Table 6. Dåva test road, results of leachate analyses. Samples from 2006–2007 from lysimeters in the test structure and the reference structure together with samples of the sprinkler water. iu = not analysed due to lack of water. Highlighted values are more than ten times higher than the corresponding value of the other structure.

Ämne	Enh	Asksträckans släntlysimer			Bevattnings- vatten	Referenssträckans släntlysimer		
		060711 ^{*)}	070604	071031		060711 ^{*)}	070604	071031
Ca	mg/l	136	95,3	127	19,3	126	iu	259
Fe	mg/l	0,177	0,0509	0,218	<0,02	42,9	iu	0,0752
K	mg/l	67,3	19,7	33,1	1,92	29,1	iu	36,4
Mg	mg/l	0,839	<0,09	<0,09	1,68	22	iu	19,7
Na	mg/l	193	37	52,7	2,11	20,5	iu	74,5
S	mg/l	77,9	55,8	107	6,32	79,9	iu	149
Si	mg/l	1,1	1,08	0,671	6,31	46,3	iu	7,48
Al	µg/l	29700	12000	12500	96,3	21000	iu	40,5
As	µg/l	3,15	1,16	<2	<1	4,39	iu	<3
Ba	µg/l	80,1	32,9	49,2	11,3	808	iu	100
Cd	µg/l	<0,06	<0,05	0,0827	<0,05	0,701	iu	0,477
Co	µg/l	0,273	0,0903	0,162	1,96	18,6	iu	1,1
Cr	µg/l	59,8	37,8	58,9	<0,9	65,2	iu	<0,5
Cu	µg/l	236	80,3	89,5	<1	178	iu	67,9
Hg	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	iu	<0,02
Mn	µg/l	3,5	7,49	6,81	<0,9	598	iu	10,4
Mo	µg/l	181	51,7	68,9	1,7	6,33	iu	18,7
Ni	µg/l	0,975	<0,5	<0,5	11,7	54,2	iu	20
Pb	µg/l	4,12	0,861	0,846	<0,6	89,8	iu	4,74
V	µg/l	4,09	2,85	3,01	<0,2	59,2	iu	0,86
Zn	µg/l	57	14,1	22,2	6,19	429	iu	883
klorid	mg/l	350	73,8	76	1,6	55	iu	167
sulfat	mg/l	220	158	308	18	230	iu	469
TOC	mg/l	7 ^{**)}	iu	5,4 ^{**)}	<1,0	11	iu	11,7

^{*)} prov taget efter bevattning.

^{**)} analys av TOC gjordes på lakvatten från asksträckans mittlysimer.

Lind m.fl. [12] presenterade resultat från en treårig studie av lakvatten till de nu aktuella lysimetrarna under provvägen i Dåva. Utifrån nederbördsdata från området under de tre år som då låg till grund för undersökningarna samt utifrån modelleringar av perkolerat vatten genom denna väg ned till en punkt direkt under asklagret, beräknades dagliga lakvattenvolymer. Dessa sammanställdes och totala delvolymer av lakvatten mellan varje provtagningstidpunkt beräknades. De provtagna lakvattnen samlades upp och analyserades varefter de totalt ackumulerade utlakade mängderna beräknades t.ex. per total mängd vägmateriel som genererade lakvatten till lysimetrarna.

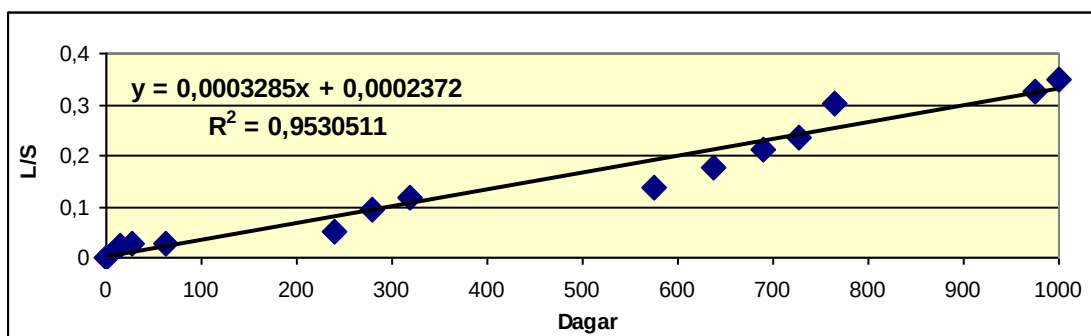
I nuvarande projekt har inte nederbördsdata mätts och inte heller genererade lakvattenvolymer modellerats. Det kan därför verka omöjligt att koppla de totalt ackumulerade utlakade mängderna som beräknades i [12] till de nu uppmätta halterna till samma lysimer. I Figur 33 har emellertid de beräknade genererade L/S som presenteras i [12]

plottats mot de tidpunkter för vilka de gällde. Man finner då att dessa värden över tiden stämmer mycket väl överens med följande linjära ekvation:

$$L/S = 0,0003285 \cdot N + 0,0002372 \quad (1)$$

där N är antal dagar räknat från 2001-09-25 då provkärl sattes ut för första gången i asksträckans släntlysimeter.

Ekvation (1) är en god approximation av förändringen av total lakvattenvolym till lysimetern under 2001–2004, eftersom det statistiska R^2 -värdet är mycket högt ($R^2 = 0,95$).



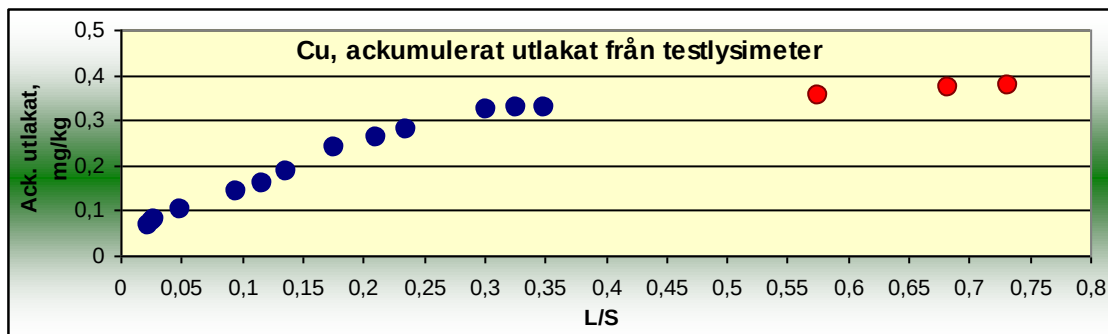
Figur 33. Dåvavägen, ackumulerat L/S vs antal lakdagar. Ekvationen och linjen beskriver den bästa linjära anpassningen. Data från [12].

Figure 33. Dåva test road, cumulative L/S vs time. Equation and graph describe the linear trend. Data from [12].

Här antas att de lakvattenvolymer som genererats under testperioden sensommaren 2001 – sommaren 2004 kan approximativt likställas med de lakvattenvolymer som genererats under perioden sommaren 2004 – senhösten 2007. Perioden mellan 010925 och 071031 (senaste provtagningsdatum) består av 2227 dagar. Om N sätts lika med 2227 i ekvation 1 erhålls ett ackumulerat L/S av 0,732 l/kg från starten 2001. Detta motsvarar ca L/S 0,1 per år.

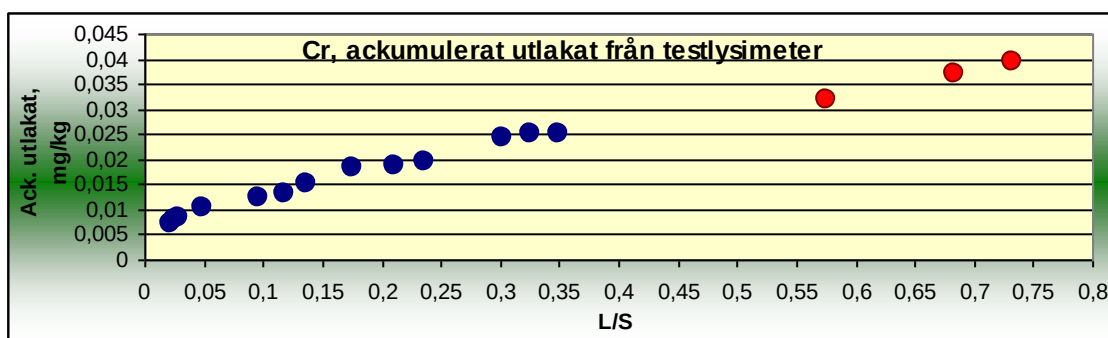
Nu har inte allt lakvatten samlats upp under tiden sommar 2004 – senhöst 2007, alltså motsvarar inte uppmätt halt i lakvattnet 2007 vad som genererats under detta tidsintervall. För att ändå kunna beräkna ackumulerade halter i lakvattnet antas här att medelhalten i lakvattnet som genererats mellan 2004 och 2006 kan approximeras med ett medelvärde av uppmätt halt sommaren 2004 och uppmätt halt sommaren 2006². På samma sätt antas att medelhalten som genererats mellan de tre senaste provtillfällena, 2006–2007, kan approximeras med ett medelvärde av de uppmätta halterna vid varje provtillfälle. På basis av detta har totalt ackumulerade utlakade mängder per kg material beräknats och resultaten presenteras här tillsammans med tidigare resultat och på samma sätt som i [12] (Figur 34–Figur 39).

² Dvs. en linjär förändring av halterna mellan de båda provtagningsstillfällena.



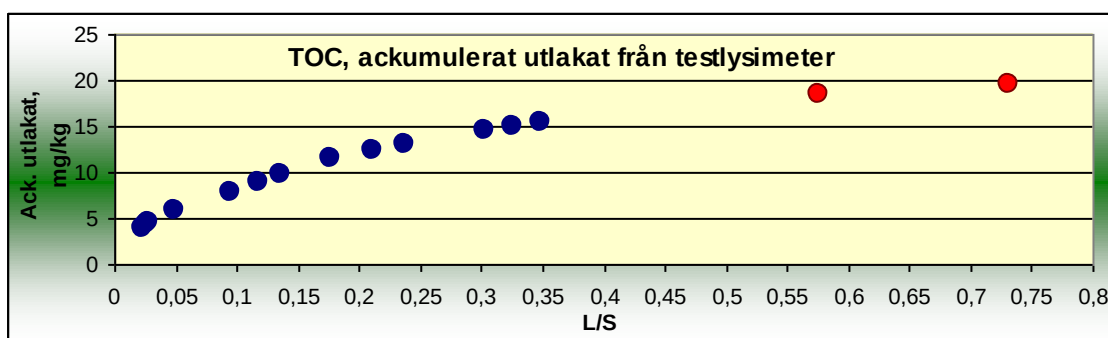
Figur 34. Dåvavägen, beräknad ackumulerad utlakad mängd koppar till asksträckans släntlysimeter. Linjär approximation av ackumulerade volymer lakvatten (enligt ekvation 1) samt linjär interpolation av halter. Punkter för L/S mindre än 0,4 från [12].

Figure 34. Dåva test road, calculated accumulated leached amount of copper to lysimeter "pavement edge" in the test structure. Linear approximation of accumulated volume leachate (eq. 1) and linear interpolation of concentration. Values for L/S < 0,4 from [12].



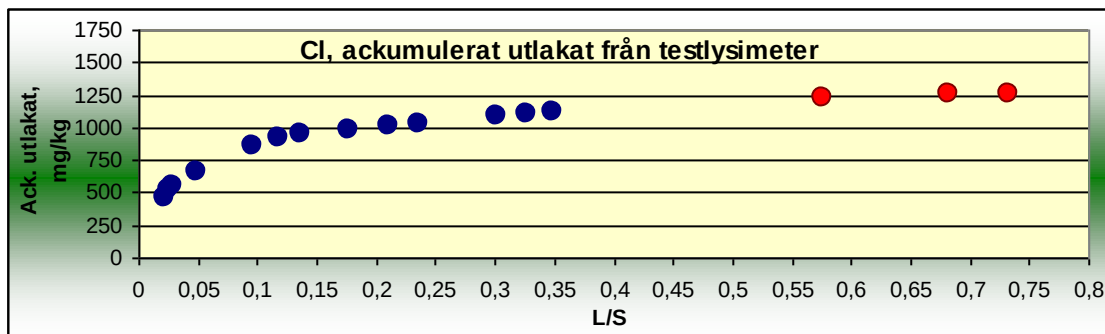
Figur 35. Dåvavägen, beräknad ackumulerad utlakad mängd krom till asksträckans släntlysimeter. Linjär approximation av ackumulerade volymer lakvatten (enligt ekvation 1) samt linjär interpolation av halter. Punkter för L/S mindre än 0,4 från [12].

Figure 35. Dåva test road, calculated accumulated leached amount of chrome to lysimeter "pavement edge" in the test structure. Linear approximation of accumulated volume leachate (eq. 1) and linear interpolation of concentration. Values for L/S < 0,4 from [12].



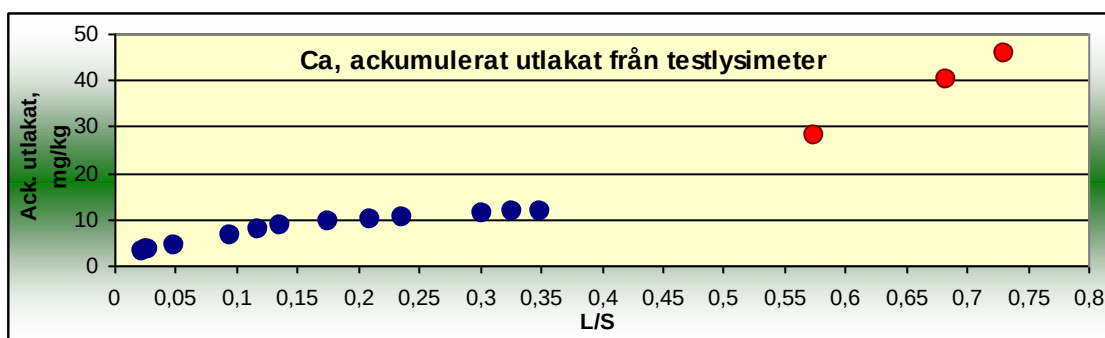
Figur 36. Dåvavägen, beräknad ackumulerad utlakad mängd totalt organiskt kol till asksträckans släntlysimeter. Linjär approximation av ackumulerade volymer lakvatten (enligt ekvation 1) samt linjär interpolation av halter. Punkter för L/S mindre än 0,4 från [12].

Figure 36. Dåva test road, calculated accumulated leached amount of TOC to lysimeter "pavement edge" in the test structure. Linear approximation of accumulated volume leachate (eq. 1) and linear interpolation of concentration. Values for L/S < 0,4 from [12].



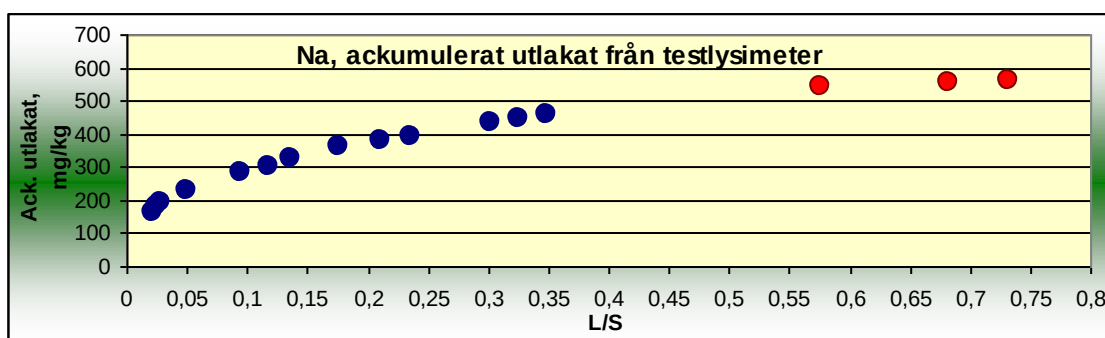
Figur 37. Dåvavägen, beräknad ackumulerad utlakad mängd klorid till asksträckans släntlysimeter. Linjär approximation av ackumulerade volymer lakvatten (enligt ekvation 1) samt linjär interpolation av halter. Punkter för L/S mindre än 0,4 från [12].

Figure 37. Dåva test road, calculated accumulated leached amount of chloride to lysimeter "pave-ment edge" in the test structure. Linear approximation of accumulated volume leachate (eq. 1) and linear interpolation of concentration. Values for L/S < 0,4 from [12].



Figur 38. Dåvavägen, beräknad ackumulerad utlakad mängd kalcium till asksträckans släntlysimeter. Linjär approximation av ackumulerade volymer lakvatten (enligt ekvation 1) samt linjär interpolation av halter. Punkter för L/S mindre än 0,4 från [12].

Figure 38. Dåva test road, calculated accumulated leached amount of calcium to lysimeter "pave-ment edge" in the test structure. Linear approximation of accumulated volume leachate (eq. 1) and linear interpolation of concentration. Values for L/S < 0,4 from [12].



Figur 39. Dåvavägen, beräknad ackumulerad utlakad mängd natrium till asksträckans släntlysimeter. Linjär approximation av ackumulerade volymer lakvatten (enligt ekvation 1) samt linjär interpolation av halter. Punkter för L/S mindre än 0,4 från [12].

Figure 39. Dåva test road, calculated accumulated leached amount of sodium to lysimeter "pave-ment edge" in the test structure. Linear approximation of accumulated volume leachate (eq. 1) and linear interpolation of concentration. Values for L/S < 0,4 from [12].

Av figurerna ovan framgår att asksträckans utlakning av koppar, TOC, klorid och natrium har en markant avklingande trend som funktion av L/S (och därmed också som funktion av tid). Utlakningen av krom under senare tid avtar inte lika markant. En förklaring kan vara att reducerat, svårlösligt krom i vägmaterialet omvandlas kontinuerligt med hjälp av aerobt regnvatten till mer lösligt oxiderat krom.

Den ackumulerade utlakningen av kalcium och sulfat ökar under de senare provtagningsperioderna. Det gäller både asksträckan och referenssträckan. Bakomliggande orsak är okänd men skulle kunna vara att material innehållande dessa ämnen t.ex. gips (kalciumsulfat) oavsiktligt har tillförts vägen under någon transport.

Inför byggandet av provvägen utfördes laboratorieprovningar på askan [16]. Det var skaktester som utfördes för kvalitetssäkring av materialet som kallades "Aska provväg". Totalt analyserades 24 stycken lakprov³ där hälften var uttagna vid L/S 2 och hälften vid L/S 10. För att ge en referensram har resultatet av dessa skaktester här jämförts med värden från några olika källor. Det är dels EU:s och Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, med gränsvärden för avfall som avses deponeras på deponi för inert avfall [7], [15], dels Naturvårdsverkets förslag till maximalt utlakbara mängder från avfall som återvinns för anläggningsändamål [14]. I det senare fallet har värden i kategori 1 "allmän tillämpning" använts. Av jämförelsen framgår att utlakad mängd koppar, klorid och sulfat från askan signifikant överskrider gränsvärdena och/eller de föreslagna maxvärdena (Tabell 7). Observera att de maximalt utlakbara mängder som hämtats från Naturvårdsverkets förslag gäller vid användning av avfall i allmän tillämpning och inte vid deponitäckning. Notera också att förslaget fortfarande är under remissbehandling och inte har fastställts.

³ På laboratoriet XRAL.

Tabell 7. Dåvavägen, data från tidigare utförda skaktester på askan i asksträckan. Medelvärde av tolv lakvattenprov uttagna vid L/S 2 och tolv prov vid L/S 10 [16].

Jämförvärden från tre olika källor. Markerade värden överstiger gräns- eller föreslagna maxvärden. iu = analyserades ej.

Table 7. Dåva test road, data from batch tests (EN 12457-3) in a previous study of the ash. Mean value of twelve leachate samples at L/S 2 and twelve samples at L/S 10 [16].

Values for comparison from three sources. Highlighted values exceed limit values or proposed maximum values. iu = not analysed.

Enhet: Ämne	L/S 2		L/S 10		
	Ack. utlakat från askan vid lablakning innan provvägen byggdes	Gränsvärde för avfall till inert deponi enligt EU ¹⁾	Ack. utlakat från askan vid lablakning innan provvägen byggdes	Gränsvärde för avfall till inert deponi enligt NV ²⁾	Remissförslag för avfall till anläggningsbyggande ³⁾
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
As	0,009	0,1	0,01	0,5	0,13
Ba	iu	7	iu	20	
Cd	0,002	0,03	0,002	0,04	0,01
Cr	0,13	0,2	0,17	0,5	0,42
Cu	0,67	0,9	0,97	2	0,31
Hg	iu	0,003	iu	0,01	0,004
Mo	iu	0,3	iu	0,5	
Ni	0,02	0,2	0,04	0,4	0,6
Pb	0,004	0,2	0,02	0,5	0,31
Sb	iu	0,02	iu	0,06	
Se	iu	0,06	iu	0,1	
Zn	0,01	2	0,04	4	2,2
DOC	iu	240	iu	500	
Fenol-index	iu	0,5	iu		
Fluorid	iu	4	iu	10	
Klorid	2063	550	2759	800	147
Sulfat	1868	560	1851	1000	227

¹⁾ EU Rådets beslut 2002 [7], ej medtaget i [15].

²⁾ Gällande gränsvärde för lakvatten från avfall som avses att placeras på deponi för inert avfall [15].

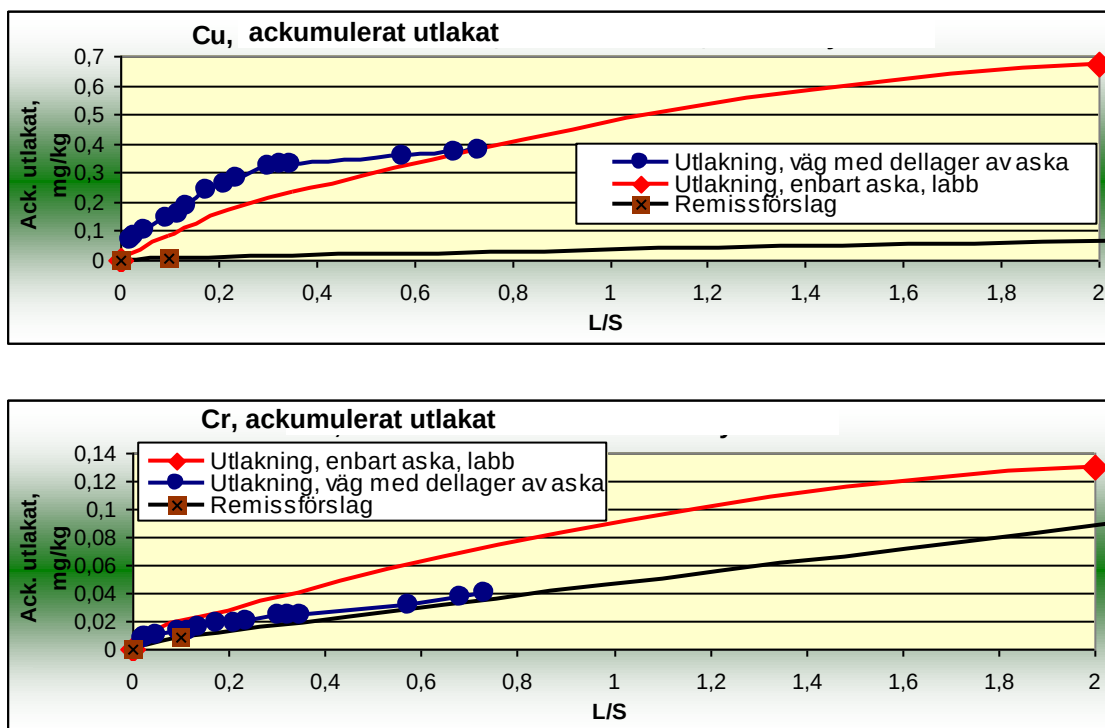
³⁾ Ej fastställt remissförslag från Naturvårdsverket: Maximalt utlakbara mängder från avfall som återvinns för anläggningsändamål; kategori 1 allmän tillämpning [14].

De begränsade äldre skaktestdata som finns för askan visar alltså att förutom klorid- och sulfatlakningen är det kopparlakningen som gör sig gällande jämfört med de nämnda max- och gränsvärdena.

Ovannämnda skaktestdata för koppar kan också jämföras med fältresultaten från asksträckan som är sammanställda i Figur 34. Då framgår det att kopparlakningen i fält är större initialt, men uppvisar därefter en snabbare avtagande trend jämfört med lakningen i laboratoriet (Figur 40). Observera att L/S i fält är beräknad på hela konstruktionens vikt, dvs. på den massa som genererar lakvatten till testlysimetern, medan L/S i laboratoriet är beräknad enbart på askans vikt.

En likadan jämförelse har gjorts för krom och visar att när askan ligger i vägen är utlakningen initialt något lägre och på sikt avsevärt lägre än när askan lakas i laboratoriet (Figur 40). Lakning i laboratorieskala av enbart aska ger alltså inte en rättvisande bild

av lakegenskaper hos konstruktioner med aska. Detta bör beaktas när potentialen för nyttiggörande av askan bedöms.



Figur 40. Dåvavägen, ackumulerad utlakad mängd koppar (överst) och krom (underst) från asksträckan enligt fältuppföljning och från enbart askan enligt tidigare skakförsök i laboratoriet [16]. För jämförelse används i remiss föreslagna maxvärden för avfall till anläggningsbyggande, kategori 1 "allmän tillämpning" [14]. Kurvanpassning har gjorts för analyserade lakvärden gällande Vägkonstruktionen med aska vid punktangivna L/S; Äldre labdata från skaktest vid L/S 2 och L/S 10; Remissförslag med maxvärden vid L/S 0,1 och L/S 10 samt Teoretiska värden vid L/S 0.

Figure 40. Dåva test road, accumulated leached amount of copper (top) and chrome (bottom) from the test structure and from the ash solely according to batch test (EN 12457-3) [16]. For comparison, maximum values proposed for Waste for use in construction work, category 1 "general use" [14] are used. Best fit lines were made for analysed leaching data regarding Ash section at given L/S; Previous batch test at L/S 2 and L/S 10; Proposal for consideration with maximum values at L/S 0,1 and L/S 10 and finally Theoretical values at L/S 0.

8.2.1 Sammanfattning av utlakningen av oorganiska ämnen

Asksträckans ackumulerade utlakning av koppar, TOC, klorid och natrium avklingade markant som funktion av L/S och därmed också som funktion av tid. Utlakningen av krom avtog inte lika markant. En förklaring kan vara att reducerat, svårlösligt krom i vägmaterialet omvandlas kontinuerligt med hjälp av aerobt regnvatten till mer lösligt oxiderat krom.

Både asksträckans och referenssträckans ackumulerade utlakning av kalcium och sulfat ökade under de senare provtagningsperioderna. Bakomliggande orsak är okänd men möjligen kan material innehållande dessa ämnen t.ex. gips (kalciumsulfat) ha tillförts vägen oavsiktligt.

En jämförelse mellan asksträckans lakresultat och resultat från tidigare utförda laboratorielaktester på askan visade att konstruktionen i fält kan ge signifikant annorlunda utlakning än enbart askan. Exempelvis lakades avsevärt mindre mängder krom ut från asksträckan än vid laboratorielakning av enbart askan, medan koppar initialt lakades ut mer från asksträckan, men därefter fick en snabbare avklingande trend än vid laboratorielakning av enbart askan.

8.3 Organiska föreningar i lakvattnet

I den ursprungliga uppföljningen [12] jämfördes lakningen av organiska föreningar till mittlysimetrarna i de båda sträckorna. Avsikten i denna fortsatta uppföljning var att göra likadant, men brist på vatten från referenssträckans mittlysimeter gjorde att innehållet av organiska föreningar fick analyseras på vatten från referenssträckans släntlysimeter istället.

Lakvatten som provtogs i juli 2006 från asksträckans mittlysimeter och referenssträckans släntlysimeter samt brandpostvattnet som användes vid bevattningen analyserades på ett urval av organiska föreningar. Dessa valdes med ledning av vad som hade detekterats i provvägens och askans lakvatten inom det tidigare projektet [12] och den förstudie som föregick den [16]. Ett stort antal av de föreningar som analyserades kunde dock inte detekteras med halter över respektive detektionsgräns (Tabell 8).

Tabell 8. Dåvavägen, organiska föreningar som har analyserats men ej detekterats i lakvattnet till asksträckans mittlysimeter och referenssträckans släntlysimeter i provtagna i juli 2006. ($\mu\text{g/l}$)

Table 8. Dåva test road, organic compounds with concentration below the detection limit in leachate samples from lysimeter "road centre" in the test structure and lysimeter "pavement edge" in the reference structure, in July 2006. ($\mu\text{g/l}$).

Ämne	Halt/ Detektions- gräns	Ämne	Halt/ Detektions- gräns	Ämne	Halt/ Detektions- gräns
o-kresol	<0,10	3,5-diklorfenol	<0,10	n-C11 alkansyra	<0,10
m-kresol	<0,10	2,3-diklorfenol	<0,10	n-C20 alkansyra	<0,10
p-kresol	<0,10	3,4-diklorfenol	<0,10	n-C21 alkansyra	<0,10
2,3-dimetylphenol	<0,10	2,4,6-triklorfenol	<0,10	n-C22 alkansyra	<0,10
2,4-dimetylphenol	<0,10	2,3,5-triklorfenol	<0,10	n-C23 alkansyra	<0,10
2,5-dimetylphenol	<0,10	2,4,5-triklorfenol	<0,10	n-C24 alkansyra	<0,10
2,6-dimetylphenol	<0,10	2,3,6-triklorfenol	<0,10	n-C25 alkansyra	<0,10
3,4-dimetylphenol	<0,10	3,4,5-triklorfenol	<0,10	n-C26 alkansyra	<0,10
3,5-dimetylphenol	<0,10	2,3,4-triklorfenol	<0,10	s:a n-C8 alkansyra	<1,0
2,3,5-trimetylphenol	<0,10	2,3,5,6-tetraklorfenol	<0,10	s:a n-C9 alkansyra	<1,0
2,4,6-trimetylphenol	<0,10	2,3,4,5-tetraklorfenol	<0,10	s:a n-C10 alkansyra	<1,0
2-etylphenol	<0,10	dimetylftalat	<1,0	s:a n-C11 alkansyra	<0,50
3-etylphenol	<0,10	dietylftalat	<1,0	s:a n-C12 alkansyra	<0,20
4-etylphenol	<0,10	di-n-propylftalat	<1,0	s:a n-C13 alkansyra	<0,20
2-isopropylphenol	<0,10	di-n-butylftalat	<1,0	s:a n-C15 alkansyra	<0,20
2-n-propylphenol	<0,10	di-isobutylftalat	<1,0	s:a n-C19 alkansyra	<0,10
3-t-butylphenol	<0,10	di-pentylftalat	<1,0	s:a n-C20 alkansyra	<0,10
2-monoklorfenol	<0,10	di-n-oktylftalat	<1,0	s:a n-C21 alkansyra	<0,10
3-monoklorfenol	<0,10	butylbensylftalat	<1,0	s:a n-C22 alkansyra	<0,10
4-monoklorfenol	<0,10	di-cyklohexylftalat	<1,0	s:a n-C23 alkansyra	<0,10
2,4+2,5-diklorfenol	<0,10	n-C6 alkansyra	<0,50	s:a n-C24 alkansyra	<0,10
2,6-diklorfenol	<0,10	n-C7 alkansyra	<0,50	s:a n-C25 alkansyra	<0,10
		n-C9 alkansyra	<0,10	s:a n-C26 alkansyra	<0,10

Några organiska föreningar hade detekterbara halter i lakvattnet (Tabell 9) och det noterades att den totala halten av alkansyror var avsevärt högre i lakvattnet till referenssträckans släntlysimeter ($67 \mu\text{g/l}$) än i lakvattnet till asksträckans mittlysimeter ($3 \mu\text{g/l}$). Alkansyror detekterades enbart i lakvattnet från asksträckan (totalt $7 \mu\text{g/l}$). Sammant-

get verkade referenssträckans vägslänt laka ut mer alkansyror+alkensyror än asksträckans vägmitt.

Tabell 9. Dåvavägen, organiska ämnen med halter över detektionsgräns i minst ett av lakvattenproven tagna i juli 2006. ($\mu\text{g/l}$).

Table 9. Dåva test road, organic compounds with concentration exceeding the detection limit in leachate samples from July 2006. ($\mu\text{g/l}$).

Ämne	Asksträckans mittlysimer	Referenssträckans släntlysimer	Bevattningsvatten
fenol	0,3	<0,10	<0,10
2,3,4,6-tetraklorfenol	<0,10	0,15	0,25
pentaklorfenol	<0,10	1,7	3,6
S:a klorfenoler	<0,9	1,85	3,85
di-(2-etylhexyl)ftalat	<1,0	2,4	<1,0
n-C8 alkansyra	<0,10	<0,10	0,15
n-C10 alkansyra	0,14	<0,10	0,18
n-C12 alkansyra	0,12	0,44	0,81
n-C13 alkansyra	0,16	<0,10	<0,10
n-C14 alkansyra	0,87	0,54	0,18
n-C15 alkansyra	0,25	<0,10	<0,10
n-C16 alkansyra	1,1	19	<0,40
n-C17 alkansyra	<0,10	0,5	<0,10
n-C18 alkansyra	<0,40	46	<0,40
n-C19 alkansyra	0,26	0,1	<0,10
S:a alkansyror	2,9	66,6	1,3
s:a n-C14 alkansyra	0,22	<0,20	<0,20
s:a n-C16 alkansyra	2,7	<0,40	0,8
s:a n-C17 alkansyra	0,27	<0,20	<0,20
s:a n-C18 alkansyra	3,4	<0,40	<0,40
S:a alkansyror	6,6	<0,8	0,8

Enligt de inledande laboratoriestudierna lakade själva askan ut fettsyror [16] och i den ursprungliga fältstudien lakades mer fettsyror ut till asksträckans mittlysimer än till referenssträckans mittlysimer [12].

Under 2006 verkade dock referenssträckans vägslänt laka ut mer fettsyror än asksträckans vägmitt (Figur 41). Varifrån dessa syror härstammar är oklart. Det är känt att syror na bl.a. kan associeras till livsmedel samt som intermediärer vid biologisk nedbrytning av alifater med motsvarande eller högre antal kol. De kan troligtvis även genereras av naturligt organiska material i marken. I övrigt, eventuellt med undantag av pentaklorfenol, fanns inga större haltskillnader mellan lakvattnen från asksträckan och referenssträckan (Tabell 9). Eftersom referenssträckan är uppbyggd med bergkross är det mindre sannolikt att vägmaterialet skulle vara källan till klorfenolerna och fettsyrorna. Orsaken till varför de fanns i lakvattnet från referenssträckan är oklar. En av flera hypoteser är att det läckt in yt- eller grundvatten i vägen vid referenssträckans släntlysimer, beroende på periodvis förhöjda lokala grundvatten- eller ytvattennivåer vid regn eller av andra skäl.

Det bör noteras att även bevattningsvattnet hade detekterbara halter av fettsyror och klorfenoler, varav pentaklorfenol stod för den största andelen (3,6 $\mu\text{g/l}$). Bevattningsvattnets ursprung är inte känt, men varken klorfenoler eller fettsyror bör normalt finnas i

kommunalt brandpostvatten. En tänkbar förklaring kan vara att detta vatten inte kom från det kommunala ledningsnätet utan från en branddamm i området.

Under 2007 analyserades totalt tre vattenprov från lysimetrarna. I juni 2007 togs enbart prov från asksträckans mittlysimeter och i oktober 2007 togs prov från asksträckans mittlysimeter och referenssträckans släntlysimeter. Alla de alkylfenoler och klorfenoler som analyserades 2006 och som då låg under detektionsgräns (Tabell 8), låg även 2007 under detektionsgränsen i alla prov. Fenol detekterades i lakvattnen till både asksträckans mittlysimeter och referenssträckans släntlysimeter i oktober 2007 med halterna 0,20 µg/l respektive 0,16 µg/l, d.v.s. strax över detektionsgränsen 0,10 µg/l. I proven från juni 2007 låg fenol under detektionsgränsen. Ingen av de ftalater som analyserades under 2007 fanns i halter över detektionsgränsen och de enstaka klorfenoler som detekterades i lakvattnen 2006 låg också under detektionsgränsen 2007.

I alla vattenprov från 2007 låg halten av de flesta analyserade alkensyrorna samt några alkansyror under detektionsgränsen. Några alkan- och alkensyror hade halter över detektionsgränsen (Tabell 10). I lakvattnet till referenssträckans släntlysimeter var halterna av fettsyror avsevärt lägre under 2007 än 2006. Lakvattnen till asksträckans mittlysimeter hade ungefär samma totalhalter av fettsyror som under 2006.

Tabell 10. Dåvavägen, alkansyror och alkensyror med halter över detektionsgräns i lakvattenprov från 2007. (µg/l).

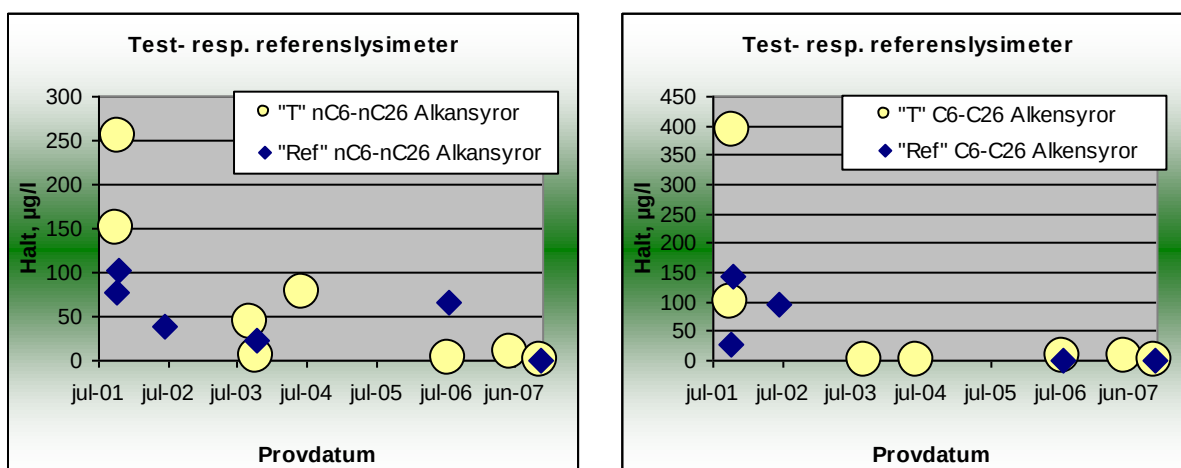
Table 10. Dåva test road, alkane and alkene acids with concentration exceeding the detection limit in leachate samples from July 2007. (µg/l).

Ämne	Asksträckans mittlysimeter		Referenssträckans släntlysimeter
Datum	070604	071031	071031
n-C10 alkansyra	0,51	<0.10	<0.10
n-C12 alkansyra	1,1	<0.10	<0.10
n-C13 alkansyra	0,17	<0.10	<0.10
n-C14 alkansyra	0,87	<0.10	0,17
n-C15 alkansyra	0,5	<0.10	<0.10
n-C16 alkansyra	2,9	<0.20	0,3
n-C17 alkansyra	0,21	<0.10	<0.10
n-C18 alkansyra	1,8	<0.20	0,29
n-C26 alkansyra	<0.10	<0.10	<0.10
n-C8 alkansyra	0,77	<0.20	<0.20
n-C9 alkansyra	0,49	<0.10	<0.10
S:a alkansyror	9,3	<0,8	0,8
s:a n-C16 alkensyra	1,1	<0.20	<0.20
s:a n-C18 alkensyra	7	<0.40	0,9
S:a alkensyror	8,1	<0,6	0,9

När resultaten från denna uppföljning redovisas tillsammans med resultat från den ursprungliga fältstudien sträcker sig tidsserien från sensommaren 2001 till hösten 2007. Då framgår att lakvattnens halter av valda organiska ämnen överlag har avtagit med tiden, eventuellt undantaget ftalater som uppvisade en avgränsad halttopp under 2004 (halterna har dock snabbt avtagit efter 2004) (Figur 41–Figur 43).

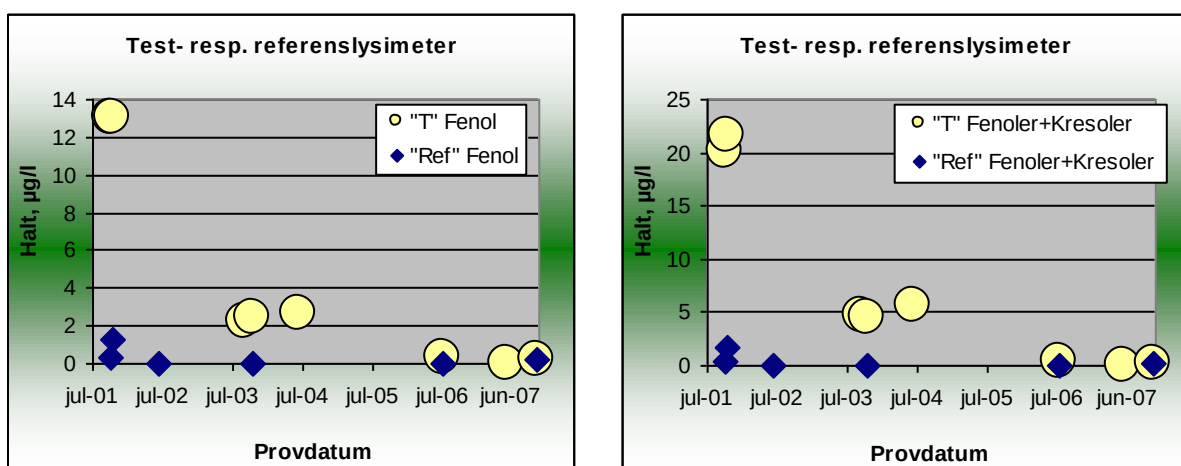
Referenssträckans lakvattenhalter från sommaren 2006 var dock något högre för vissa föreningar än teststräckans lakvattenhalter. Orsaken är okänd. Möjligen kan det spela in att under 2006 och 2007 användes referenssträckans släntlysimeter som referens i stället för referenssträckans mittlysimeter. Emellertid var alla halter låga under 2007.

Innehållet av organiska föreningar i de första lakvattnen diskuterades i den ursprungliga fältstudien, men har inte kunnat förklaras entydigt.



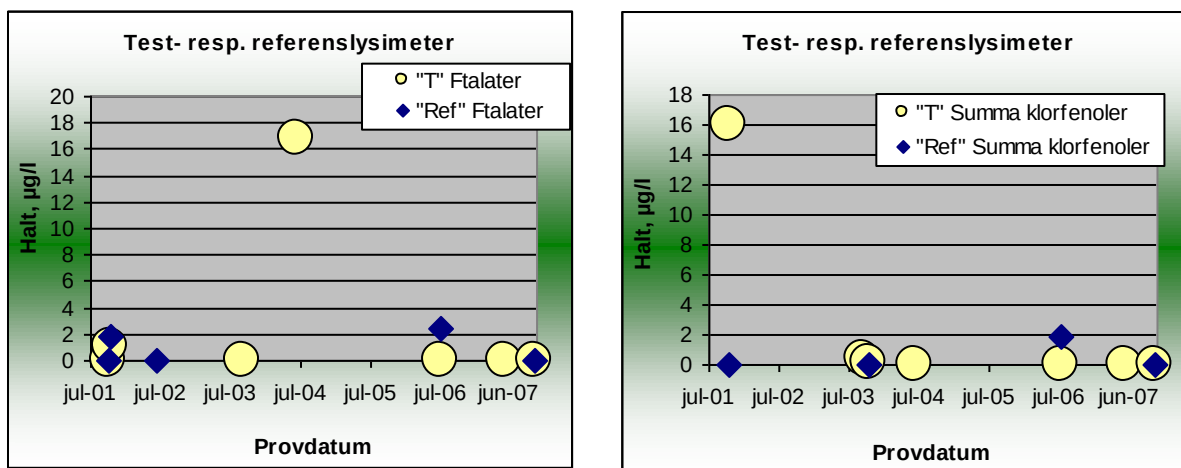
Figur 41. Dåvavägen, halter av alkansyror och alkensyror i lakvattnen till test- och referenslysimeter. Data t.o.m sommar 2004 från [12]. Under 2006 och 2007 användes referenssträckans släntlysimeter som referens i stället för mittlysimetern.

Figure 41. Dåva test road, concentrations of alkane acids and alkene acids in leachates to test and reference lysimeters. Data until 2004 from [12]. In 2006 and 2007, lysimeter "pavement edge" in the reference structure was used as reference instead of lysimeter "road centre".



Figur 42. Dåvavägen, halter av fenoler och (fenoler + kresoler) i lakvattnen till test- och referenslysimeter. Data t.o.m sommar 2004 från [12]. Under 2006 och 2007 användes referenssträckans släntlysimeter som referens i stället för mittlysimetern.

Figure 42. Dåva test road, concentrations of phenol and (phenol + cresol) in leachates to test and reference lysimeters. Data until 2004 from [12]. In 2006 and 2007, lysimeter "pavement edge" in the reference structure was used as reference instead of lysimeter "road centre".



Figur 43. Dåvavägen, halter av ftalater och klorfenoler i lakvattnen till test- och referenslysimeter. Data t.o.m sommar 2004 från [12]. Under 2006 och 2007 användes referenssträckans släntlysimeter som referens i stället för mittlysimetern.

Figure 43. Dåva test road, concentrations of phtalate and chloride phenol in leachates to test and reference lysimeters. Data until 2004 from [12]. In 2006 and 2007, lysimeter "pavement edge" in the reference structure was used as reference instead of lysimeter "road centre".

8.3.1 Sammanfattning av utlakningen av organiska föreningar

Under de första åren efter vägens anläggande uppmättes högre halter av analyserade organiska föreningar i lakvattnen till testlysimetern än i lakvattnen till referenslysimetern. Halterna till testlysimetern sjönk med tiden och var efter cirka fem–sex år i nivå med utlakat till referenslysimetern. Av okänd anledning avvek lakningen av organiska syror från denna generella utveckling. Trenden var densamma initialt, d.v.s. större utlakning till testlysimetern, men provtagning cirka fem år efter start visade högre utlakade halter av fettsyror till referenslysimetern i vägslänt, än till testlysimetern i vägmitt.

9 Slutsatser

Projektens huvudsyfte har varit att öka kunskapen om slaggrus långtidshållfasthet och långsiktiga miljöpåverkan när det används som vägmaterial (förstärkningslager i lågtrafikerade vägar). Resultaten från studierna visar att:

- Den styvhetsökning som hade uppmätts på en äldre slaggrusprovväg i Linköping kunde inte noteras på de undersökta vägarna med slaggrus av ”modernare” typ. Det beror antagligen på att askan numera lagras längre tid innan användning och de stabiliserande reaktioner som äger rum i den färska askan hinner avslutas redan i upp-laget.
- I både Törringevägen och Dåvavägen hade provsträckan med aska i förstärkningslagret mindre styvhet än referenssträckan med bergkross i förstärkningslagret, troligen beroende på mindre kornstorlek för askan än för det krossade bergmaterialet.
- I Törringevägen rådde ungefär samma förhållande mellan slaggrusets och bergkrossmaterialets styvhet 2008 som 1999.
- I Dåvavägen var skillnaden mellan bergkrossmaterialets och slaggrusets styvhet något större 2004 och 2006 än 2002.
- Dåvavägens ackumulerade utlakning av kalcium och sulfat ökade under projekttiden, vilket är svårt att förklara om inte material innehållande dessa ämnen har tillförts vägen på något sätt.
- Flertalet av de analyserade ämnena uppmättes i högre halt i lakvattnet till referenssträckans släntlysimeter än i lakvattnet till asksträckans släntlysimeter.
- Asksträckan hade en markant avklingande laktrend för koppar, TOC, klorid och natrium, men ingen tydligt avtagande trend för lakning av krom, vilket kan bero på en kontinuerlig omvandling av kromet till en mer löslig form.
- Asksträckans lakvatten hade högre halter av analyserade organiska föreningar än referenssträckans lakvatten under de första åren efter anläggandet, men halterna sjönk markant och var nu, efter ca fem–sex år, i nivå med referenssträckans värden. Av okänd anledning avvek de senare årens lakning av organiska syror från detta mönster, så att halten av dessa fettsyror var högre i lakvattnet till referenssträckans släntlysimeter än i lakvattnet till asksträckans mittlysimeter vid denna uppföljning.
- När tidigare laboratorielakresultat för den använda askan jämfördes med nyligen föreslagna maxvärden för avfall till anläggningsbyggande (allmän tillämpning) och med gällande gränsvärden för avfall som avses deponeras på deponi för inert avfall, framgick att det var främst klorid, sulfat och koppar samt initialt i viss mån krom som överskred gränsvärdena och/eller föreslagna maxvärden. En fullständig jämförelse kunde dock inte göras eftersom alla ämnen och parametrar inte analyserades vid den tidigare laboratorieundersökningen.
- Jämförelse mellan asksträckans lakresultat och tidigare utförda laboratorielaktester på askan visade att vägkonstruktionen kan ge signifikant annorlunda utlakning än enbart askan. Lakning i laboratorieskala av enbart aska ger alltså inte en rättvisande bild av lakegenskaper hos konstruktioner med aska, vilket bör beaktas när potentialen för nyttiggörande av askan bedöms.

10 Rekommendationer

Med ledning av projektresultaten kan följande rekommendationer ges angående användning av slaggrus i vägar och undersökning av askor:

Slaggrus som används som förstärkningslager i en vägkropp behåller sin styvhet under årens lopp. Den slutsatsen kan dras från den tio år gamla provvägen i den här studien. De tre mätningar som har gjorts på den andra provvägen som är sju år gammal, visar först på en minskande styvhet och sedan på en stabilisering. Emellertid skulle det ha behövts ytterligare några års uppföljning för att kunna uttala något säkert.

Styvheten för slaggrus är mindre än styvheten för bergkross. Det har visats i den här studien liksom i tidigare laboratorie- och fältstudier. I den här studien var slaggrusets styvhet ca 70% av bergkrossmaterialets styvhet. Hänsyn till detta måste tas vid dimensioneringen.

Resultaten från den här studien bekräftar tidigare studiers slutsatser om att de materialtekniska egenskaperna gör slaggrus lämpligt som förstärkningslager om vägen är rätt dimensionerad. Det kan även användas som bankmaterial, i fyllningar och som skyddslager. [1], [2], [4]

Generellt sett var slaggrusets utlakning av de flesta organiska och oorganiska ämnen begränsad. Detta skapar förutsättningar för utnyttjande i okänsliga miljöer. Det är främst klorid och sulfat som är kritiska ämnen för nyttjandet.

Askmaterial som avses att användas vid vägbyggande bör först genomgå lakteter i laboriet och resultatet bör jämföras med lämpliga max- och/eller gränsvärden. Sedan bör lakteterna på själva askan kompletteras med fullskaletester för att kunna bedöma omgivningspåverkan från hela den konstruktion som askan ingår i. Utlakningskaraktärstiken kan nämligen skilja signifikant mellan fält- och laborietester.

11 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Det är önskvärt att Törringevägen fortsätter att följas med fallviktsmätning fram tills dess att de första synbara skadorna uppträder och underhållsåtgärderna börjar.

När långsiktig miljöpåverkan från olika anläggningsmaterial ska bedömas är fullskaletester mycket värdefulla, men i vissa fall kan det vara svårt att garantera en provvägs existens och uppföljningsmöjlighet över en lång tidsperiod. Ett sätt att öka kontrollmöjligheten och kontinuiteten i arbetet är att använda SGI:s lysimeterfält, där önskade konstruktioner kan byggas och följas på ett kontrollerat sätt.

Tillsammans med tidigare projekt blir uppföljningsperioden för de två studerade provvägarna ovanligt lång. Det gör att resultaten är intressanta även utanför Sverige och de borde därför redovisas i en vetenskaplig artikel i lämplig tidskrift.

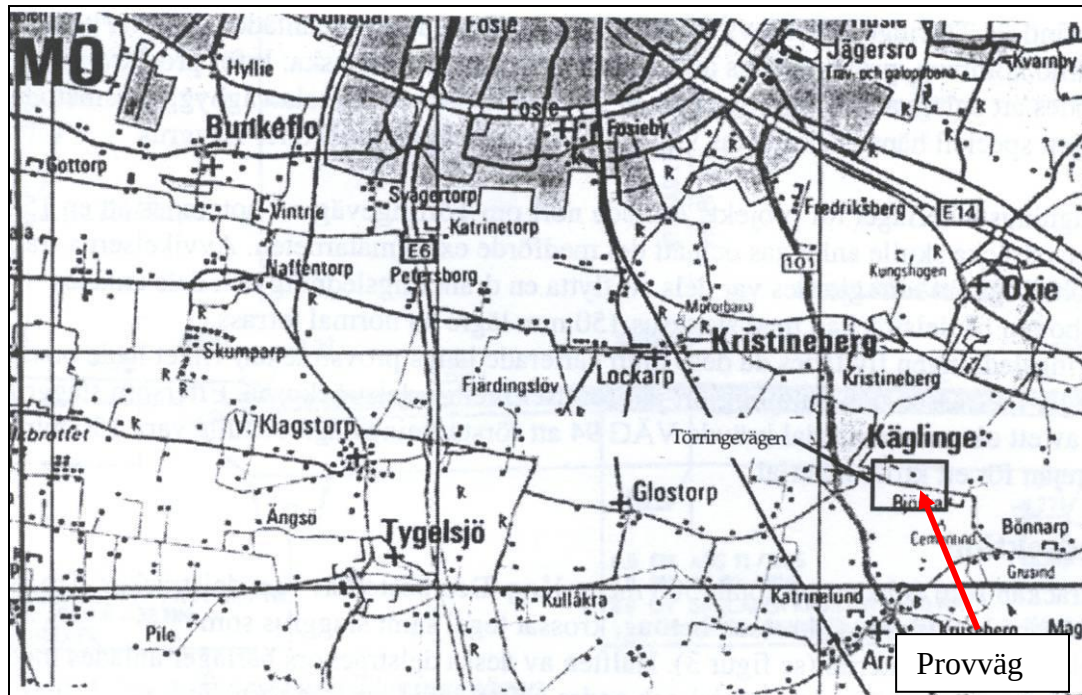
Det är möjligt att göra ytterligare sammanställningar och utvärderingar utifrån det material som nu finns framme, med nya och gamla provtagningar och labanalyser, bland annat kompletterat med tidigare tjälanalyser samt mer funderingar kring miljöeffekter eller miljöegenskaper – t.ex. jämförelser med totalhalter och TT-tester, modellering av lakvattenbildningen i Dåva under senare år etc.

12 Referenser

- [1] Arm M; "Egenskaper hos alternativa ballastmaterial – speciellt slaggrus, krossad betong och hyttsten", TRITA-AMI LIC 2063, Kungl Tekniska Högskolan, Stockholm 2000
- [2] Arm M; "Mechanical properties of residues as unbound road materials – experimental tests on MSWI bottom ash, crushed concrete and blast furnace slag". Doctoral thesis, Kungl Tekniska Högskolan, Stockholm 2003
- [3] Arm M; "Uppföljning av befintliga slaggrusprovvägar. Fallviktsmätning på provsträckor på Törringevägen i Malmö och Dåvamyran i Umeå" Rapport 916, Värmeforsk Service, Stockholm 2005
- [4] Arm M; "Slaggrus i väg- och anläggningsarbeten – Handbok". SGI Information 18:5, Statens geotekniska institut, Linköping 2006
- [5] Arm M, Suer P, Lindqvist J-E, Arvidsson H, Toomväli C och Frogner-Kockum P; "Förutsägelse av långtidsegenskaper hos restprodukter – teknik och miljö i vägar". Värmeforsk projekt Q6-625. Rapport xxx, Värmeforsk Service, Stockholm 200X (manuskript)
- [6] Bendz D, Arm M, Flyhammar P, Westberg G, Sjöstrand K, Lyth M och Wik O; "Projekt Vändöra: En studie av långtidsegenskaper hos vägar anlagda med bottenaska från avfallsförbränning" Rapport 964, Värmeforsk Service AB, Stockholm 2006
- [7] EU; "2003/33/EG: Rådets beslut av den 19 dec 2002 om kriterier och förfarande för mottagning av avfall vid avfallsdeponier i enlighet med artikel 16 i, och bilaga II till, direktiv 1999/31/EG". EU 2003
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003D0033:SV:HTML>
- [8] Grönholm R, Hartlén J, Sävström R, Fridh R och Evertsson U; "Användning av betong, tegel och slaggrus som obundet vägbyggnadsmaterial. Törringevägen i Malmö – erfarenheter från utförandet", AFR-report 278. Naturvårdsverket, Stockholm 1999
- [9] Hartlén J och Fällman A-M; "Sorted Bottom Ash from MSW Incineration in Road Embankments", SGI Varia 326, Statens geotekniska institut, Linköping 1990
- [10] Höboda P, Jacobson T och Viman L; "Undersökning av förbränningsrest från SYSAV, Malmö, genom laboratorie- och provvägsförsök", VTI meddelande nr 413, Statens väg- och trafikinstitut, Linköping 1985
- [11] Jacobsson T och Viman L; "Provvägsförsök Gästads -87, Slagger från kol- och sopförbränning, Lägesrapport 8901", VTI notat nr V80, Statens Väg- och trafikinstitut, Linköping 1989
- [12] Lind B, Larsson L, Gustafsson J-P, Gustafsson D, Ohlsson S-Å, Norrman J, Arvidson O och Arm M. Energiaska som vägbyggnadsmaterial – utlakning och miljöbelastning från en provväg. Statens Energimyndighet. SGI Varia 557. Statens geotekniska institut, Linköping 2005
<http://www.swedgeo.se/upload/publikationer/Varia/pdf/SGI-V557.pdf>
- [13] Naturvårdsverket; "Grundvatten. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet". NV Rapport 4915. Naturvårdsverket, Stockholm 1999

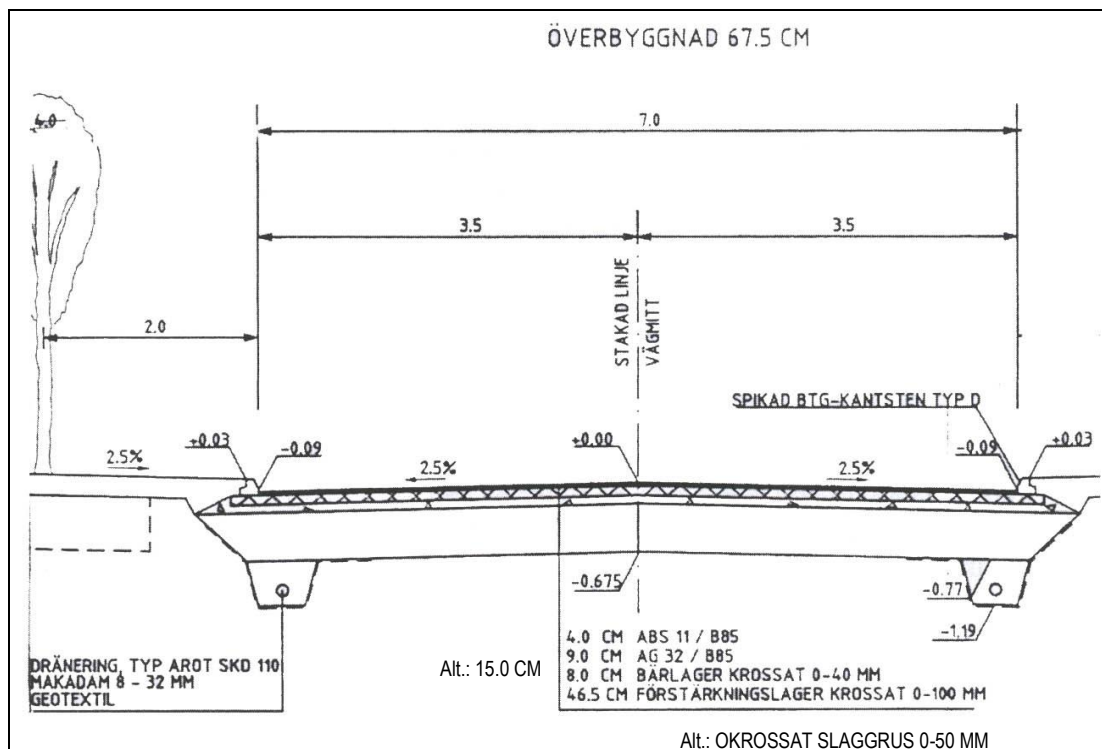
- [14] Naturvårdsverket; "Remiss av Naturvårdsverkets förslag till Handbok 2007:xx med rekommendationer för återvinning av avfall i anläggningsarbeten". Naturvårdsverket, Stockholm 2007
- [15] NFS 2004:10 "Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall". Naturvårdsverket, Stockholm 2004
- [16] Nilsson U, Larsson L och Håkansson K; "Miljömässig karakterisering av sorterad bottenaska från Dåva kraftvärmeverk" SGI uppdragsrapport med diariernr 2-0002-0097, Statens geotekniska institut, Linköping 2002
- [17] RVF; "Kvalitetssäkring av slaggrus från förbränning av avfall", RVF Rapport 02:10, RVF Service AB, Malmö 2002
- [18] Vägverket; "Deflektionsmätning vid provbelastning med fallviktsapparat", Metodbeskrivning 112, publ 1998:80. Vägverket, Borlänge 1998
<http://www.vv.se/filer/publikationer/mb112.pdf>
- [19] Vägverket; "Bearbetning av deflektionsdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat", Metodbeskrivning 114, publ 2000:29. Vägverket, Borlänge 2000. <http://www.vv.se/filer/publikationer/vvmb114.pdf>

13 Plan- och profilritningar & Foton



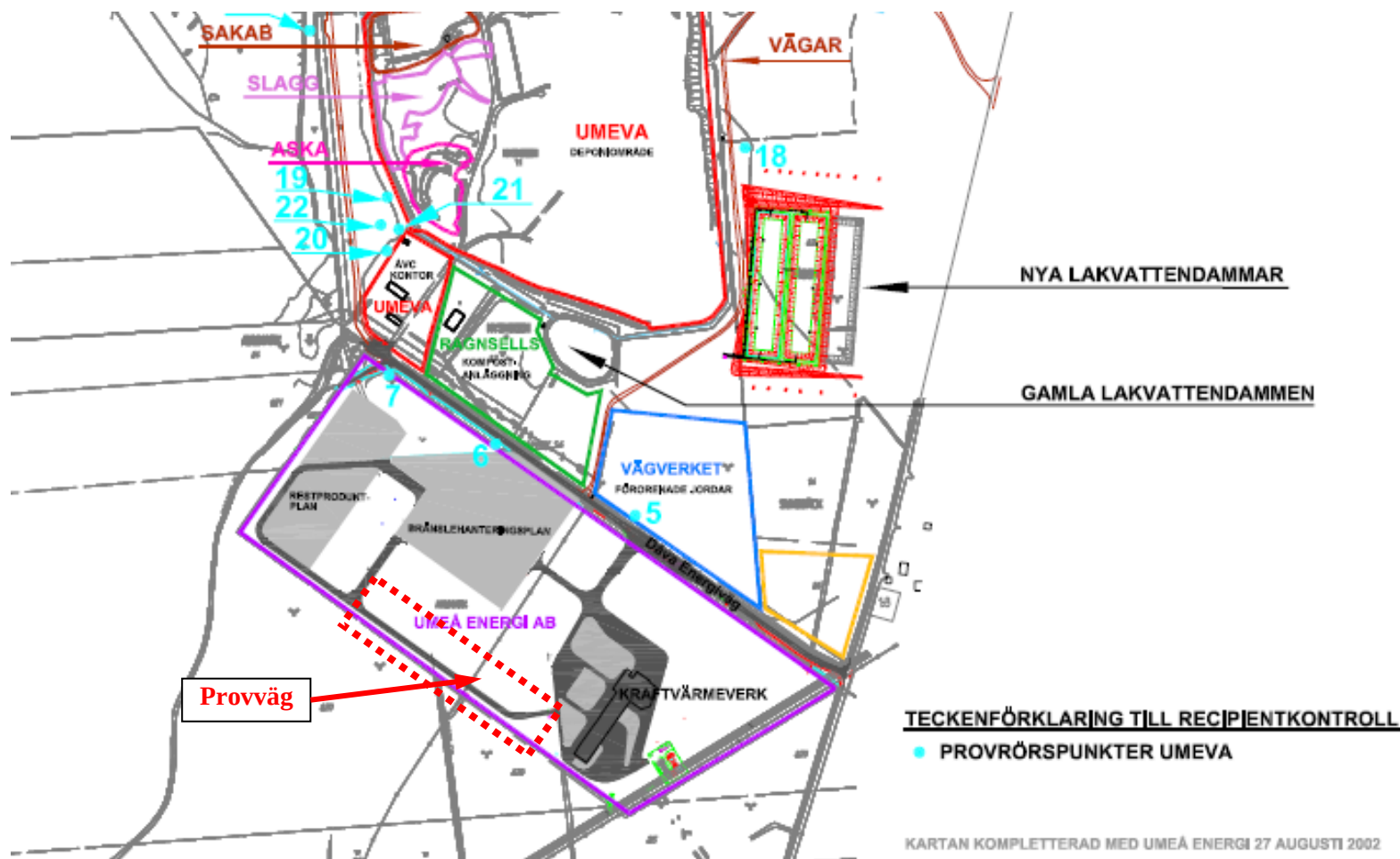
Figur 44. Törringevägen, situationsplan (efter [6])

Figure 44. Törringevägen test road, location (after [6])



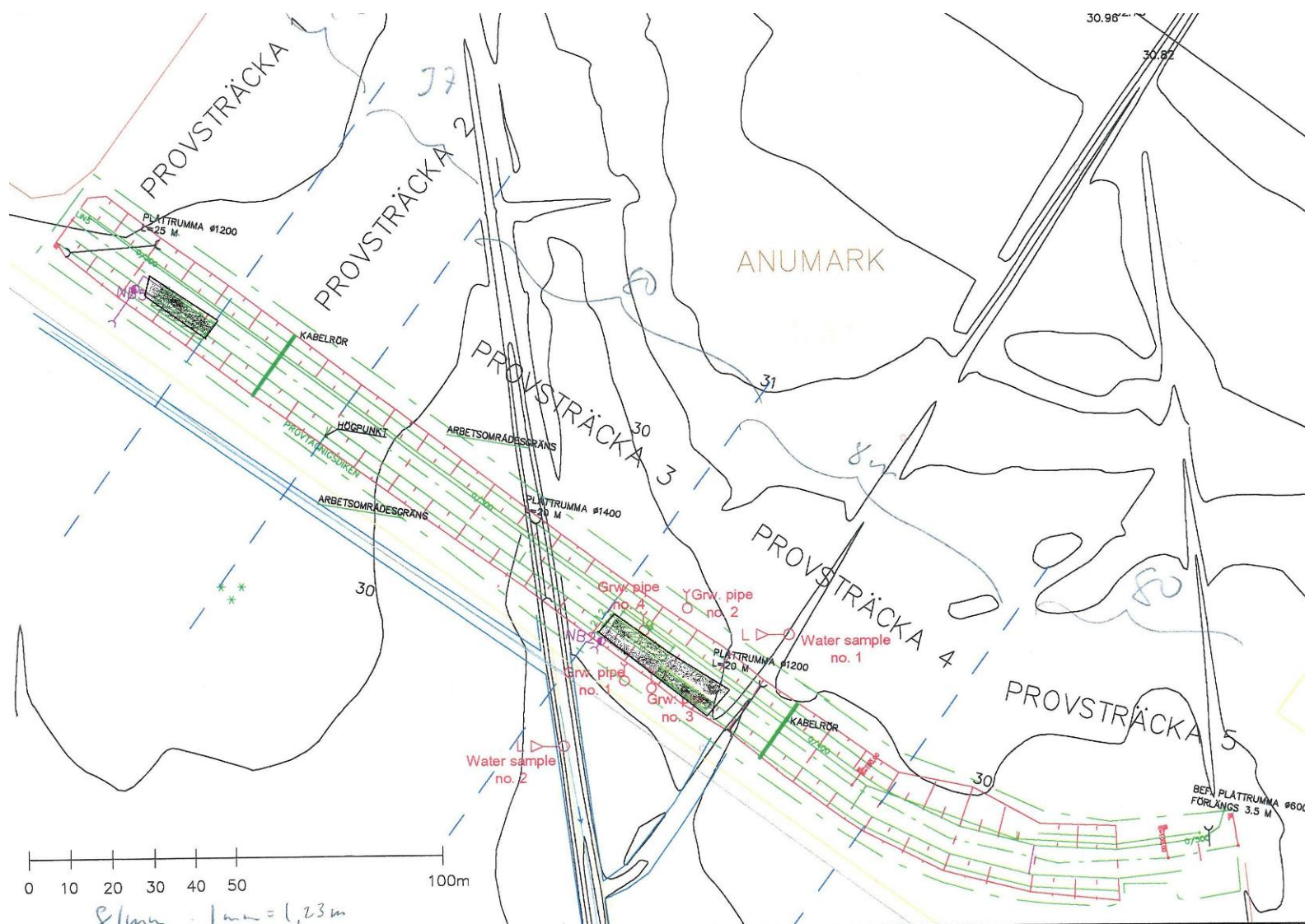
Figur 45. Törringevägen, tvärsektion.

Figure 45. Törringevägen test road, cross section.



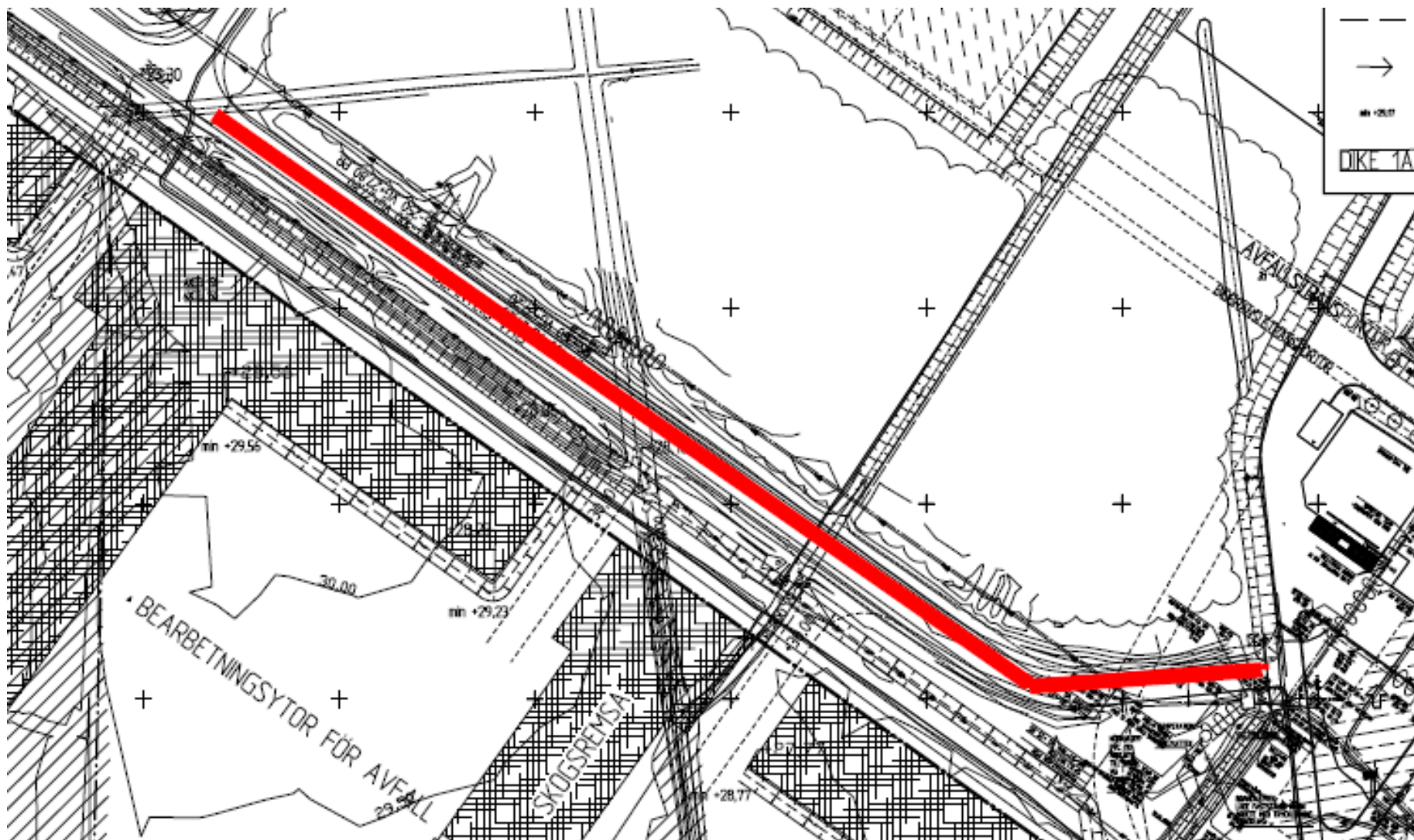
Figur 46. Dåvavägen, situationsplan.

Figure 46. Dåva test road, overview.



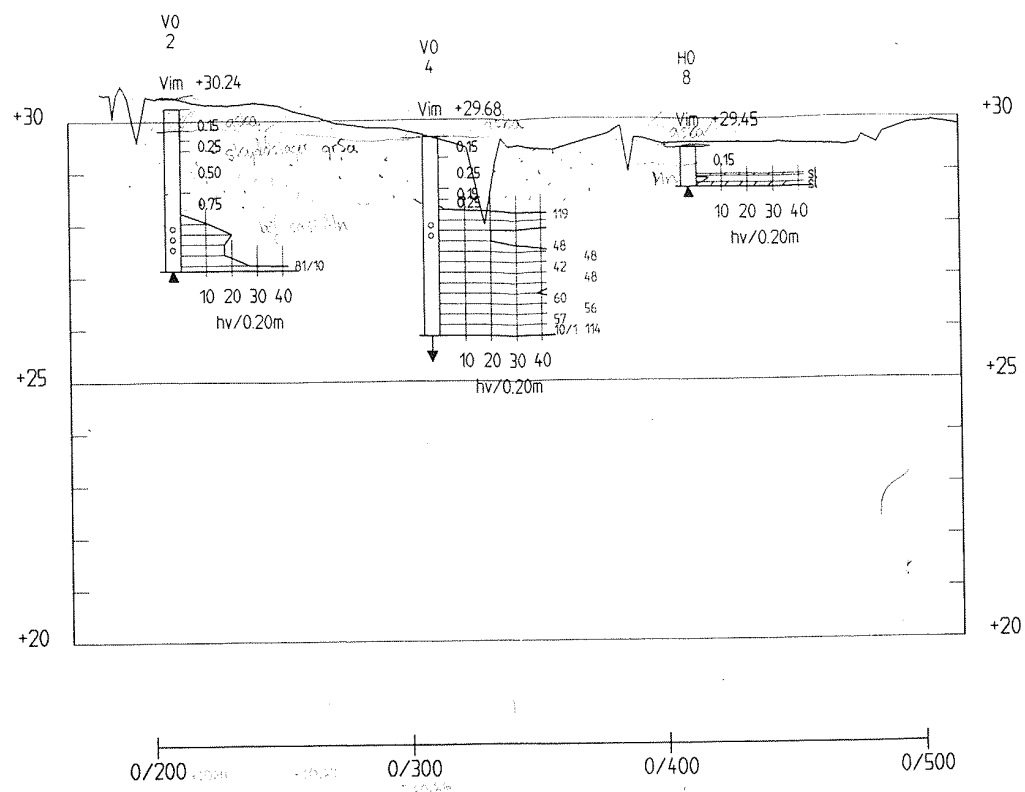
Figur 47. Dåvavägen, översiktsplan.

Figure 47. Dåva test road, overview



Figur 48. Dåvavägen, efter ombyggnationer söder om vägen.

Figure 48. Dåva test road, after construction works south of the road.



Figur 49. Dåvavägen, profil med grundundersökningar.

Figure 49. Dåva test road, profile with soil investigation results.

TÖRRINGEVÄGEN



November 1998 (foto VTI)



Juni 1999 (foto VTI)



November 2006 (foto SGI)

DÅVAVÄGEN



September 2001 (foto SGI)



Oktober 2001 (foto SGI)

Dåvavägen i maj 2006 (foto Åsa Lindström, SGI)



Här ska grundvattenrör 1 och 3 sitta.



Grundvattenrör 4 syns inte i vägbanan.



Provtagningsbrunn 2 vid asksträckan.



Provtagningsbrunn 5 vid referenssträckan.

Dåvavägen i augusti 2006 (foto Henrik Bristav, Umeå Energi AB)



Dåvavägen i juli 2006 (foto Ola Arvidslund, SGI)



Grundvattenrör 1 och 3.



Grundvattenrör NV.



Grundvattenrör NV.



Vattning på referenssträckan (fotoriktning mot nordväst och sydost).



Lokalisering av släntlysimeter i referenssträckan

och vattning igen.



Vattning på asksträckan (fotoriktning mot nordväst och sydost).

forts. Dåvavägen i juli 2006 (foto Ola Arvidslund, SGI)



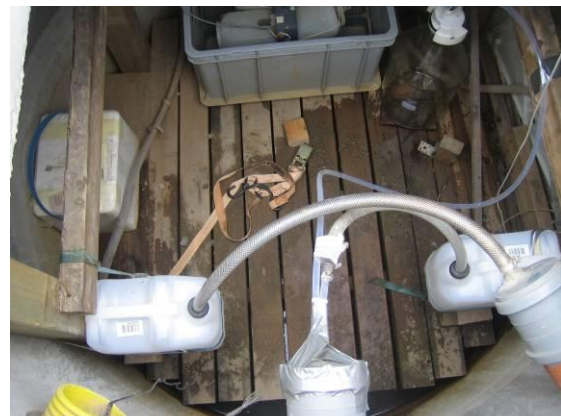
Översvämning i brunn 2 vid asksträcken efter vattning.



Grävning av nytt utlopp till brunn 2 vid asksträcken.



Brunn 2 vid asksträcken, interiör.



Brunn 5 vid referenssträcken, interiör.

Dåvavägen i oktober 2007 (foto Charlotta Tiberg, SGI)



Provtagningsbrunn 2 i södra kanten av asksträckan.



Provtagningsbrunn 5 i södra kanten av referenssträckan.

forts. Dåvavägen i oktober 2007 (foto Charlotta Tiberg, SGI)



Grundvattenrör 1 och 3 som ursprungligen sattes i den södra vägs slänten.



Grundvattenrör 1 kapat och täckt med brunnslock.



Rykande flishög i bakgrunden.

Dåvavägen i april 2008 (foto Charlotta Tiberg, SGI)



Utsikt mot nordväst..Jämförelse mellan oktober 2001 (vänster) och april 2008 (höger)



Utsikt från grundvattenrör 2X



Utsikt mot Värmeverket. Jämförelse mellan oktober 2001 (vänster) och april 2008 (höger)