



Hålrumshalt hos asfaltborkärnor

Utvärdering av provningsmetoder för bestämning av skrymdensitet

Leif Viman
Henrik Broms

Förord

Detta projekt har genomförts på uppdrag av Trafikverket. Kontaktpersoner har Per-Erik Westergren och Kenneth Lind varit. Provningarna har utförts på VTIs laboratorium av Henrik Hellman, Andreas Waldemarson, Maja Elnerud, Fredrik Gustafsson och Peter Ringström. Vid utvärdering av resultat samt rapportskrivning har konsult Henrik Broms medverkat.

Linköping 2013-04-15



Leif Viman

Projektledare

Kvalitetsgranskning

Granskningsseminarium genomfördes 18 juni 2012. Leif Viman har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Projektledarens närmaste chef, Björn Kalman, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering.

Quality review

Review seminar was carried out on 18 June 2012. Leif Viman has made alterations to the final manuscript of the report. The research director of the project manager, Björn Kalman, examined and approved the report for publication.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Inledning	11
2 Syfte och omfattning	13
3 Definition av skrymvolym enligt EN 12697-6.....	14
- Skrymvolym enligt vattenmetod A	14
- Skrymvolym enligt vattenmetod B	15
- Skrymvolym enligt förseglingsmetoder C.....	16
- Skrymvolym enligt skjutmåtsmetod D	17
4 Provtagning och provberedning av borrhärdarna.....	18
5 Bestämning av borrhärdarnas hålrums halt	19
6 Resultat.....	20
7 Kommentarer och slutsatser	24
8 Rekommendationer	30
Referenser.....	32

Bilaga:

Enskilda resultat i tabell och diagramform

Hålrums halt hos asfaltborrhärnor. Utvärdering av provningsmetoder för bestämning av skrymdensitet

av Leif Viman och Henrik Broms

VTI

581 95 Linköping

Sammanfattning

Hålrums halten hos borrhärnor är en viktig parameter för bedömning av kvaliteten hos asfaltbeläggningar. Den beräknas vanligen med hjälp av borrhärnans skrymdensitet och kompaktdensitet.

I detta projekt har följande fyra metoder för bestämning av skrymdensiteten studerats:

- Vattenmetoden
- Paraffinmetoden
- Skjutmåttmetoden
- Plastfoliemetod med vakuum

Trafikverket tillämpar i dag de tre första metoderna för bestämning av skrymdensiteten. Den fjärde metoden, plastfoliemetoden, har bara provats i liten skala i Sverige. Paraffinmetoden används som referensmetod för alla beläggningstyper utom dränerande asfaltbetong, men metoden har en stor nackdel. Det är komplicerat att applicera och ta bort det omslutande paraffinskiktet. Vattenmetoden är betydligt enklare att utföra, men vid provkroppar med grövre hålrumsstruktur ökar risken för underskattning av hålrums halten. Skjutmåttmetoden har mindre bra precision och används bara för dränerande asfaltbetong. Plastfoliemetoden, som har standardiserats i USA, är intressant, därför att den kan användas för alla beläggningstyper och därmed ersätta de övriga metoderna.

I denna rapport jämförs vattenmetoden med paraffinmetoden för klarläggande av dess tillämplighet. Vidare jämförs plastfoliemetoden med paraffinmetoden och skjutmåttmetoden. Projektet omfattade ett 70-tal borrhärnor från fem olika beläggningssubjekt med beläggningstyperna ABT16, ABS16 och ABb22. Hålrums halten enligt paraffinmetoden låg hos merparten av proven under 10 procent, men 16 prov (ABT16) hade hålrums halter i intervallet 11-15 procent.

Vattenmetodens tillämplighet

Vattenmetoden gav acceptabel överensstämmelse med paraffinmetoden, då hålrums halten med paraffinmetoden inte översteg ca 7 procent. Med acceptabel överensstämmelse menas här att vattenmetodens hålrums halt avvek med högst 1,0 procent från paraffinmetodens hålrums halt. Vid prov med högre hålrums halt (> 7 %) ökade risken för underskattning av hålrums halten; 8 av de 19 proven avvek då med mer än 1,0 procent.

Provkroppens vattenabsorption (kvarvarande vattenhalt efter avtorkning) kan ge vägledning för vattenmetodens tillämplighet. ASTM anger att vattenmetoden inte bör användas, om vattenabsorptionen är större än 2 procent. Av de 54 prov som uppfyllde ASTMs kriterium var det bara två prov, som inte gav godtagbara resultat med vattenmetoden.

VTIs data från en omfattande ringanalys år 2000 på borrhärdor av massatyperna ABS 16 och AG 16 verifierar också ASTMs kriterium. För samtliga prov med vattenabsorption $\leq 2,0$ procent gav vattenmetoden acceptabel överensstämmelse med paraffinmetoden.

I denna rapport föreslås att valet av skrymdensitetsmetod styrs av det hålrumshaltskrav, som gäller för den utförda beläggningen. Därmed undviks förnyad provning som i dag kan bli följden enligt Trafikverkets nuvarande regler i TRVKB 10 för bitumenbundna lager, om det visar sig att hålrumshalten enligt vattenmetoden ligger utanför förväntat intervall. Dessutom införs ASTMs kriterium för vattenabsorptionen. Se nedanstående tabell.

Största tillåten hålrumshalt enligt TRVKB 10 (%)	Beläggningstyp	
	ABT, ABS, AG	ABD
≤ 10	Vattenmetoden, om $W_{ab} \leq 2,0$ % Paraffinmetoden, om $W_{ab} > 2,0$ %	-
> 10	-	Skjutmåttmetoden

ANM W_{ab} = vattenabsorption (kvarvarande vattenhalt efter avtorkning) enligt vattenmetoden.

ASTMs vattenabsorptionskriterium ger stor säkerhet för vattenmetodens tillämplighet, eftersom VTIs data visar att vattenmetoden kan ge tillförlitliga resultat på provkroppar med så hög vattenabsorption som 5 procent. Om en provkropp med hög vattenabsorption har grov hålrumstruktur ökar dock risken för underskattning av hålrumshalten genom att en del av det absorberade vattnet rinner ut ur provkroppen, när den tas upp ur vattenbadet och avtorkas. I rapporten presenteras ett kriterium för utvidgad tillämpning av vattenmetoden. Kriteriet baseras på provkroppens vattenabsorption och öppna hålrumshalt. Båda dessa parametrar kan bestämmas utan att provkroppen förstörs.

Plastfoliemetoden med vakuum som alternativ till övriga skrymdensitetsmetoder

Plastfoliemetoden korrelerade väl med både paraffinmetoden och skjutmåttmetoden. Den tunnaste av de tre plastpåsar som studerades gav den bästa överensstämmelsen. Hålrumshalten med denna plastpåse blev i genomsnitt ca 1 procent större än den hålrumshalt som erhöles med paraffinmetoden och ca 0,7 gånger den hålrumshalt som erhöles med skjutmåttmetoden.

Plastfoliemetoden har flera fördelar. Den är enkel att utföra och kan tillämpas på alla beläggningstyper. Erfarenheterna från USA och Australien är goda. Den bör kunna användas som generell metod för bestämning av skrymdensiteten, men innan den implementeras för kvalitetskontroll behöver bland annat följande undersökningar genomföras:

- Framtagning av lämpliga prestandakrav för vakuumförpackaren och lämplig typ av plastpåse;
- Ytterligare jämförelseprovning med bl.a. paraffinmetoden och skjutmåttmetoden för eventuell justering av Trafikverkets kravvärden avseende hålrumshalt;
- Ringanalys med ett antal väglaboratorier för bedömning av metodens precision.

Void content of asphalt cores. Evaluation of test methods for the determination of bulk density

by Leif Viman and Henrik Broms
VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)
SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

The void content of cores is an important parameter for evaluating the quality of asphalt pavements. It is usually calculated by means of the bulk density and the maximum density of the core.

In this project the following four methods for determination of the bulk density have been studied:

- Water method –Saturated surface dry specimen;
- Paraffin sealing method;
- Caliper method;
- Vacuum sealing method.

The Swedish Transport Administration applies today the first three methods for determination of bulk density. The fourth method, the vacuum sealing method, has only been used on a small scale in Sweden. The paraffin method is used as the reference method for all asphalt types except porous asphalt, but the application and removal of the paraffin layer is complicated. The water method is easier to perform, but coarser void structure of the specimen increases the risk of underestimation of the void content. The caliper method has lower precision and is used only for porous asphalt. The vacuum sealing method can be used for all asphalt types and thus replace all of the other methods.

This report compares the water method with the paraffin method in order to clarify its applicability. The vacuum sealing method is also compared with the paraffin method and the caliper method. The project included more than 70 cores from five different asphalt paving objects with the Swedish mixture types ABT16 (dense asphalt concrete), ABS16 (stone mastic asphalt) and ABb22 (asphalt concrete - binder course). The void contents according to the paraffin method were below 10 per cent for most of the specimens, but for 16 specimens (ABT16) the void contents were in the range of 11 to 15 per cent.

Applicability of the water method

The water method provided acceptable conformance with the paraffin method, when the void content according to the paraffin method did not exceed about 7 per cent. With acceptable conformance means that the difference in void content between the two methods did not exceed 1,0 per cent. At higher void contents (> 7 %) the risk of underestimation of the void content according to the water method increased; in this case 8 of totally 19 specimens differed by more than 1,0 per cent.

The water absorption of the specimen (residual water content after wiping of the water saturated specimen) can provide guidance for the applicability of the water method. ASTM specifies that the water method should only be used, if the water absorption does not exceed 2,0

per cent. In this project only two of the 54 specimens, fulfilling the ASTM-criterion, did not yield acceptable results with the water method.

ASTMs water absorption criterion is also verified by results from a comprehensive precision trial, carried out 2000 by VTI on mixture types ABS16 and AG16 (asphalt concrete base course). For all specimens with water absorption $\leq 2,0$ per cent the water method provided acceptable conformance with the paraffin method.

This report suggests that the choice of bulk density method should be based on the void content requirements applicable for the actual asphalt pavement. This approach avoids re-testing of a new specimen, which will be the result under the Swedish Transport Administration's current specifications for bituminous layers (TRVKB 10), when the actual void content according to the water method is outside the acceptable range.

The report also introduces ASTMs water absorption criterion for selection of bulk density method. See the table below.

Max allowable void content according to TRVKB 10 (%)	Bituminous mixture type	
	ABT, ABS, AG	ABD
≤ 10	Water method, if $W_{ab}^a \leq 2,0$ % Paraffin method, if $W_{ab}^a > 2,0$ %	-
> 10	-	Caliper method

^a W_{ab} = water absorption (residual water after wiping) according to the water method.

ASTMs water absorption criterion provides great safety for the applicability of the water method, since VTIs data show that the water method can give reliable results on specimens with water absorption up to 5 per cent. However, the risk of underestimation of the void content of specimens with high water absorption will increase, when their void structure is coarse. When such a specimen is removed from the water bath and wiped, absorbed water can drain from the specimen.

The report presents a new criterion for extended applicability of the water method. This criterion is based on two parameters: the water absorption and the “open” void content (includes open pores filled with water). These parameters can be determined without destruction of the specimen.

Vacuum sealing method as an alternative to other bulk density methods

Vacuum sealing method correlates well with both the paraffin method and the caliper method. The thinnest of the three plastic bags studied gave the best fit. The void content with the thinnest plastic bag was on average about 1 per cent greater than the void content obtained with the paraffin method and about 0,7 times the void content obtained with the caliper method.

The vacuum sealing method has several advantages. It is easy to perform and can be applied to any mixture type. Experiences from the USA and Australia are favourable. It could be used as a general method for the determination of bulk density, but before it is implemented for quality control the following investigations should be carried out:

- Development of appropriate performance requirements for vacuum equipment and selection of an appropriate type of plastic bag;
- Additional comparative testing, including the paraffin method and caliper method for possible adjustment of the Transport Administration's requirements for void content;
- 'Round Robin'-testing involving a number of road laboratories for evaluating the precision of the method.

1 Inledning

Hålrums halten hos borrkärnor åberopas av Trafikverket för packningskontroll (Ref 1) och för reglering av avdrag vid otillåtna avvikelser från ställda krav (Ref 2).

Hålrums halten hos en borrkärna från en asfaltbeläggning beräknas med hjälp av provets skrymdensitet och kompaktensitet enligt formeln

$$H = 100(\rho - \gamma)/\rho = 100(1 - \gamma/\rho)$$

där H = hålrums halt i %, definierad i EN 12697-8 (Ref 3)

γ = borrkärnans skrymdensitet, bestämd enligt EN12697-6 (Ref 4)

ρ = borrkärnans kompaktensitet, bestämd enligt EN12697-5 (Ref 5).

Enligt EN12697-6 kan skrymdensiteten hos en borrkärna bestämmas med fyra olika metoder (A, B, C och D). I bilaga A till denna standard finns en guide som beskriver när respektive metod ska användas. I Tabell 1 beskrivs principerna för metoderna.

Kompaktensiteten brukar bestämmas med pyknometermetod och vatten som utfyllnadsvätska.

Tabell 1. Metoder för bestämning av skrymdensitet enligt EN 12697-6 (Ref 4)

Metod	Benämning	Beskrivning	Anm.
A	Vattenmetod A	Borrkärnans volym bestäms genom vägning i luft och i vatten.	Metoden ger den lägsta hålrums halten.
B	Vattenmetod B	Borrkärnan vattenlagras och vägs i vatten. Den vattenlagrade borrkärnan vägs sedan i luft efter lätt avtorkning av fritt vatten. Volymen erhålls som differensen mellan den vattenlagrade borrkärnans vikt i luft och i vatten.	I bilaga A rekommenderas metod B för asfaltbetong upp till ca 5 % hålrums halt och för stenrik asfaltbetong (SMA) upp till ca 4 % hålrums halt. Metoden överensstämmer i stort sett med FAS Metod 427.
C	Förseglingsmetoder	Borrkärnan förses med ett tätnings-skikt, som hindrar vattnet från att tränga in i borrkärnans öppna hålrum vid vägningen i vatten.	I bilaga A påpekas att metod C kan användas för asfaltprov med hålrums halt upp till ca 15 %, men att metod C (paraffinmetoden) är mindre praktisk än metod A eller B och används därför sällan.
	Paraffinmetoden	Tätningskiktet består av paraffin.	Metoden överensstämmer i stort sett med FAS Metod 411.
	Plastfoliemetod med vakuum	Tätningskiktet består av en tunn plastfolie, som ska ge en tät omslutning av borrkärnan.	ASTM har standardiserat metoden och presenterat precisionsdata.
D	Skjutmåttmetod	Borrkärnan betraktas som en cylinder, vars volym bestäms genom mätning med skjutmått.	I bilaga A rekommenderas metod D för asfaltprov med hålrums halt större än 15 %. Metoden ger den största hålrums halten. Skjutmått utan klackar används till skillnad mot FAS Metod 448.

I bilaga B till EN 13108-20 ”Typprovning av asfaltmassor” (Ref 6) anges vilka skrymdensitetsmetoder som ska användas för olika massatyper. För asfaltbetong (t ex massatyperna ABT, ABb och AG) gäller att kravet på största tillåten hålrums halt avgör valet av metod enligt Tabell 2. För stenrik asfaltbetong (ABS) ska metod B väljas och för dränerande asfaltbetong (ABD) gäller metod D.

Tabell 2. Val av skrymdensitetsmetod för asfaltbetong på basis av största tillåten hålrums halt enligt EN13108-20, bilaga B (Ref 6)

Största tillåten hålrums halt, %	Metod
≤ 7	B
7-10	C
≥ 10	D

Trafikverket föreskriver att skrymdensitetsmetod B, C eller D ska väljas med hänsyn till massatyp och hålrums halt enligt Tabell 3 (Ref 1).

Tabell 3. Val av skrymdensitetsmetod B, C eller D, baserad på massatyp och hålrums halt enligt avsnitt 3.4 i TRVKB 10 (Ref 1).

Hålrumsintervall %	ABS	ABT	ABD	ABb	AG
0-5,0	B	B	-	B	B
5,1-7,0	C	B	-	B	C
7,1-15,0	C	C	D	C	C
>15,0	-	-	D	-	-

Enligt Tabell 3 får den betydligt enklare vattenmetoden (metod B) användas för massatyperna ABT och ABb, om provkroppens hålrums halt är högst 7,0 och för massatyperna ABS och AG, om provkroppens hålrums halt är högst 5,0 %. Valet styrs emellertid av den parameter som ska bestämmas, och denna blir känd först sedan provkroppen sönderdelats och kompaktensiteten bestämts. Detta ställer till problem, om den resulterande hålrums halten enligt metod B ligger utanför det tillåtna hålrums haltintervall i Tabell 3. Paraffinmetoden skulle ha använts i stället för vattenmetoden, men denna provning kan inte utföras, eftersom provkroppen är förstörd. En ny provkropp måste tas ut och analyseras med paraffinmetoden.

Vattenmetod B ger i allmänhet god överensstämmelse med paraffinmetoden, om de öppna inre hålrummen hos provkroppen inte är för stora. Ju större dessa hålrum blir, desto större blir risken att hålrums halten underskattas med vattenmetod B. Vid massatyperna ABS och AG anses denna risk störst.

Det är angeläget att ta fram en parameter hos provkroppen, som innan den sönderdelas för bestämning av kompaktensiteten, indikerar när vattenmetod B kan användas som ett tillförlitligt alternativ till paraffinmetoden

Ett intressant alternativ till paraffinmetoden utgör den förseglingsmetod, baserad på vakuum, som utvecklats i USA (Ref 7) och standardiserades av ASTM i början av 2000-talet (Ref 8). Denna metod har även provats i Australien (Ref 9) och Sverige (Ref 10).

2 Syfte och omfattning

Detta projekt syftar till:

- att jämföra vattenmetod B med paraffinmetoden och att ta fram ett kriterium som anger när metod B kan tillämpas i stället för paraffinmetoden;
- att jämföra plastfoliemetoden, baserad på vakuum, med paraffinmetoden och skjutmåttmetoden.

Borrkärnor från fem olika beläggningsobjekt har ingått i undersökningen. Se Tabell 4.

Tabell 4. Omfattning av undersökningen

Objekt	Beläggningstyp	Antal prov (borrkärnor - Ø 10 cm)	Hålrums halt (%) Metod C (paraffinmetoden)
1	ABb 22	10	2-8
2	ABb 22	8	2-10
3	ABS 16	10	1-8
4	ABS 16	11	1-5; 10
5	ABT 16	32	5-7; 11-15
	Summa:	71	

3 Definition av skrymvolym enligt EN 12697-6

I detta kapitel beskrivs definitionen av skrymvolym enligt metod A, B, C och D för bestämning av skrymdensiteten hos borrhärdor enligt EN 12697-6. Figurerna i detta kapitel är hämtade från Ref 11.

Skrymdensiteten (γ) beräknas ur följande formel

$$\gamma = M_1/V_s$$

där M_1 = provets torrsvikt i luft;

V_s = provets skrymvolym enligt metod A, B, C eller D.

Skrymvolym enligt vattenmetod A

Först bestäms provet torrsvikt i luft ($=M_1$). Sedan nedsänks provet i ett vattenbad. När vattnet trängt in i provet och vikten i vatten stabiliserats, vägs provkroppen ($=M_2$). Skrymvolymen ($=V_{sA}$) beräknas ur skillnaden mellan provets torrsvikt och provets vikt i vatten enligt formeln

$$V_{sA} = (M_1 - M_2)/\rho_w$$

där ρ_w = vattnets densitet.

I provets skrymvolym inkluderas därmed endast slutna hålrum och delar av de öppna hålrum som inte fyllts med vatten (Se Figur 1). Denna metod ger den minsta hålrumshalten.



Figur 1. Skrymvolym enligt vattenmetod A definieras av det vatten (blått i figuren) som omsluter och tränger in i provkroppen

Skrymvolym enligt vattenmetod B

Provningen enligt vattenmetod A fortsätter med upptagning av provet ur vattenbadet. Fritt vatten torkas av från provkroppens yta (Se Figur 2). Provkroppen vägs (= M_3).

Anm.

Enligt EN12697-6 ska provningen avbrytas, om vatten fortsätter att rinna ut från provkroppen. Metod C ska då utföras i stället.

Skrymvolymen (= V_{SB}) beräknas ur skillnaden mellan vikten i luft av provet med kvarvarande vatten och provets vikt i vatten enligt formeln:

$$V_{SB} = (M_3 - M_2) / \rho_w$$

I provets skrymvolym inkluderas därmed skrymvolymen enligt metod A och volymen av det vatten som finns kvar i provet efter avtorkning. Denna vattenhalt hos provkroppen benämns vattenabsorption (= W_{ab}) i motsvarande ASTM-metod (ref 13) och beräknas i vol-% ur följande formel:

$$W_{ab} = 100(M_3 - M_1) / (M_3 - M_2)$$

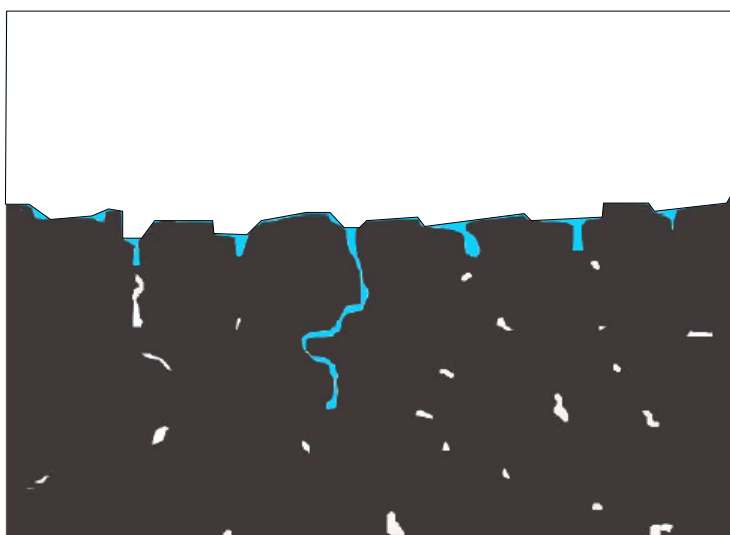
där M_1 = provets torrsvikt i luft;

M_2 = provets vikt i vatten;

M_3 = det vattenlagrade och avtorkade provets vikt i luft.

För vattenmetod B är momenten med upptagning och avtorkning av provkroppen efter vattenlagringen kritiska. Inträngande vatten kan rinna ut från de grövre inre hålrummen, vilket leder till en underskattning av skrymvolymen med för låg hålrumshalt som följd. Alltför noggrann avtorkning ger också för liten skrymvolym och därmed för låg hålrumshalt. Om det undersökta provet med en skrymvolym av ca 300 ml förlorar 1 g (1 ml) vatten blir hålrumshalten 0,3 % lägre.

ASTM (Ref 13) har begränsat tillämpningen av vattenmetod B till sådana prov, vars vattenabsorption är högst 2,0 %.



Figur 2. I skrymvolym enligt vattenmetod B ingår volymen av det vatten som absorberats av provkroppen (= volymen av kvarvarande vatten efter upptagning ur vattenbadet och efterföljande avtorkning)

Skrymvolym enligt förseglingsmetoder C

Provets torrvekt bestäms först. Sedan förseglas provet med smält paraffin eller plastfolie. Därefter kan provkroppen vägas i vatten för bestämning av skrymvolymen. Skrymvolymen definieras av tätningsskiktets inre yta. Se Figur 3.

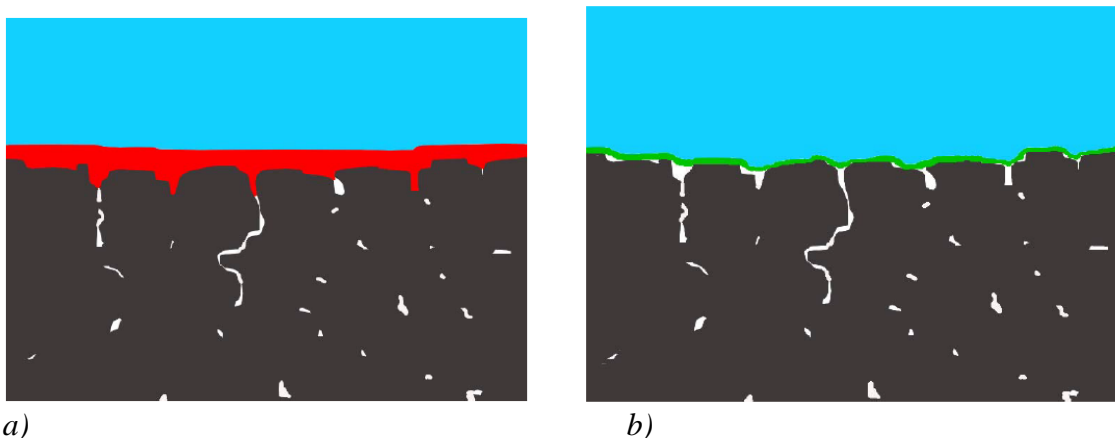
Paraffinmetoden

Skrymvolymen kommer att överskattas, om luft tränger in mellan provet och paraffinskiktet eller om luftblåsor bildas i paraffinskiktet. Den underskattas om paraffinet tränger in för långt i de ytliga hålrummen på grund av för hög temperatur.

ASTMs plastfoliemetod med vakuum (Ref 8)

Provet plastas in med hjälp av en kraftig vakuumpump, som kan åstadkomma ett så lågt absoluttryck som 10 torr eller 1,3 kPa (99 % vakuum). Se Figur 6. Det torra provet vägs, placeras i en plastpåse och läggs sedan i vakuumpumpkammaren. Vakuumpumpen suger ut luften ur kammaren. Plastpåsen förseglas med en värmespiral. Vakuumpumpkammaren öppnas, varvid det normala lufttrycket kommer att pressa plastfolien tätt intill provet. Plastpåsen med provet vägs i vatten. Provet tas upp ur badet, befrias från plastpåsen och vägs på nytt för kontroll av att inte vatten sugits in i plastpåsen.

Skrymvolymen blir större med denna metod än med paraffinmetoden, eftersom plastfolien inte tränger in lika mycket i provets ytliga hålrum som paraffinmassan (Se Figur 3). Ju tjockare plastfolien är, desto svårare blir det för plastfolien att anpassa sig till provets ytstruktur.



Figur 3. Förseglning med paraffin (a) och förseglning med plastfolie (b)

Skrymvolym enligt skjutmåtsmetod D

Provkroppen antas ha rätcylindrisk form. Cylinderns höjd och diameter mäts med skjutmått utan klackar, dvs. skrymvolymen definieras av provets toppar. Alla hålrum även ytliga hålrum och avvikelser från den regelbundna formen inkluderas (Se Figur 4). Denna metod ger alltid den största skrymvolymen och därmed den största hålrumshalten.



Figur 4. Skrymvolym enligt metod D definieras av skjutmåttets skänkel

4 Provtagning och provberedning av borrhärnorna

Värmekamerabilder, tagna under utläggningen av asfaltmassan, användes för identifiering av homogena beläggningsytor och separerade ytor, s.k. riskytor, där dålig packning och höga hålrumshalter kan förväntas. Borrhärnor togs sedan ut från båda typerna av ytor, så att en större spridning av hålrumshalten hos borrhärnorna från varje beläggningsobjekt skulle erhållas. Beläggningsytorna för ett objekt var så kraftigt separerade, att riskytor kunde identifieras visuellt.

Borrhärnor med diameter 10 cm togs ut från fem olika objekt. Undersidan sågades till provtjocklekar enligt Tabell 5. Tjockleken ska enligt EN 12697-6 överstiga 20 mm eller vara minst 2 ggr den nominellt största kornstorleken. Proven lagrades sedan torrt i rumstemperatur på laboratoriet.

Tabell 5. Provtagning och provberedning av borrhärnor

Objekt	Beläggningstyp	Antal prov	Provkroppsdata	
			Tjocklek efter sågning (mm)	Minsta tillåten tjocklek enligt EN 12697-6 (mm)
1	ABb 22	10	46-49	44
2	ABb 22	8	47-51	44
3	ABS 16	10	35-40	32
4	ABS 16	11	28-36	32
5	ABT 16	32	31-44	32

Ytstrukturen hos mantelytan och den sågade undersidan hos borrhärnorna var relativt släta, medan översidan kunde vara skrovlig (Se Figur 5).



ABb22

ABb22

ABS16

Figur 5. Exempel på ytstruktur hos översidan av upptagna borrhärnor.

5 Bestämning av borrhärnornas hålrums halt

Skrymdensiteten och kompaktdensiteten hos varje borrhärna bestämdes. Provningsen utfördes i följande ordning:

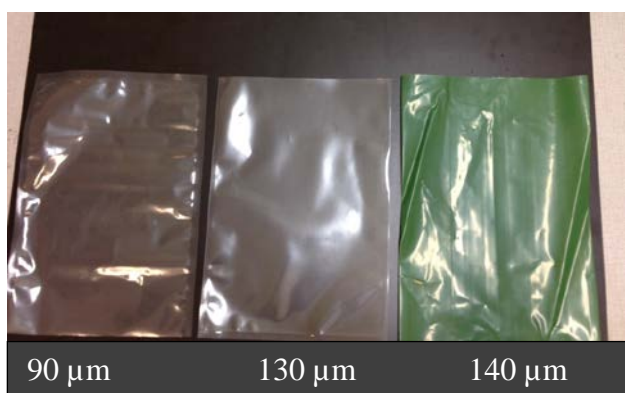
1. Skrymdensitet enligt Metod D "Skjutmåttmetod"
2. Skrymdensitet enligt Metod C "Plastfoliemetod med vakuüm"
3. Skrymdensitet enligt Metod A "Vattenmetod, där skrymvolymen bestäms genom vägning i vatten"
4. Skrymdensitet enligt Metod B "Vattenmetod med vattenabsorption (kvarvarande vattenhalt efter avtorkning)"
5. Skrymdensitet enligt Metod C "Paraffinmetoden"
6. Kompaktdensitet enligt EN12697-5 (Ref 5) med pyknometer och vatten som utfyllnadsvätska.

I

Tabell 6 ges ytterligare information om provningsbetingelserna.

Tabell 6. Särskilda provningsbetingelser

Metod	Noteringar
1. Skjutmåttmetoden	Skjutmått utan klackar.
2. Plastfoliemetoden	Förpackningsmaskin SC10 med tre olika typer av plastpåsar. Se Figur 6.
3. Vattenmetod A	Vattenlagring i 30 min före vägningen i vatten.
4. Vattenmetod B	Avtorkning av den vattenlagrade provkroppen med fuktig handduk av linne; i standarden anges fuktigt sämskskinn ("damp Chamois").
5. Paraffinmetoden	Provning enligt FAS Metod 411.
6. Kompaktdensitet	Provkropparnas vikt understeg den minsta tillåtna vikten = 50D, där D är den nominellt största kornstorleken hos beläggningen, dvs 1100 g för ABb22-beläggningen och 800 g för ABT16- och ABS16-beläggningarna. Proven från ABb22-beläggningen vägde ca 900 g, medan proven från ABS16- och ABT16-beläggningarna vägde 500-800 g. Ett fel i kompaktdensiteten av 0,01 Mg/m ³ ger ett fel i hålrums halten på ca 0,4 %.

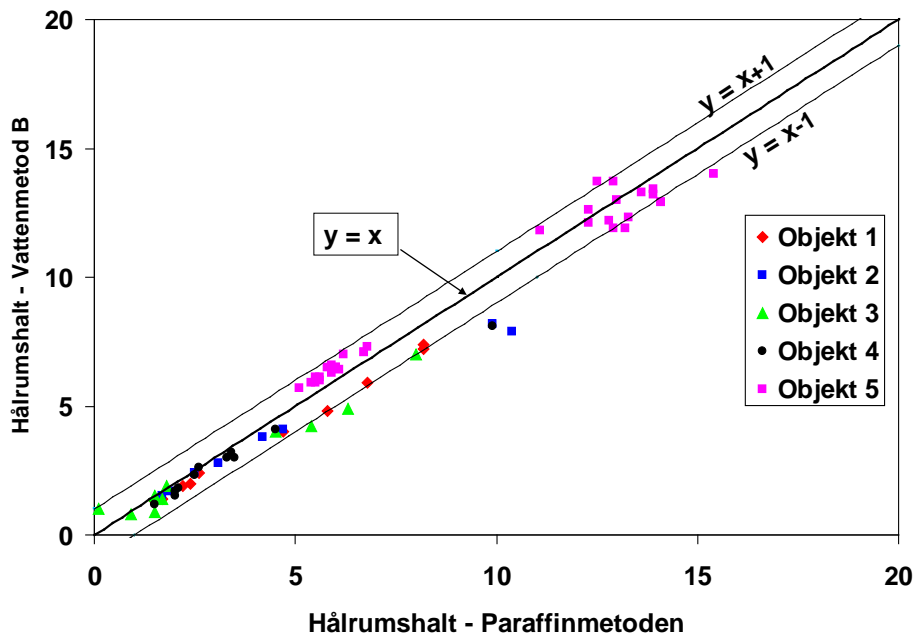


Figur 6. I denna undersökning använd utrustning och plastpåsar med deras tjocklek i µm; (Gröna påsen = originalpåse vid provning enligt CoreLok).

6 Resultat

Jämförelse av vattenmetod B med paraffinmetoden

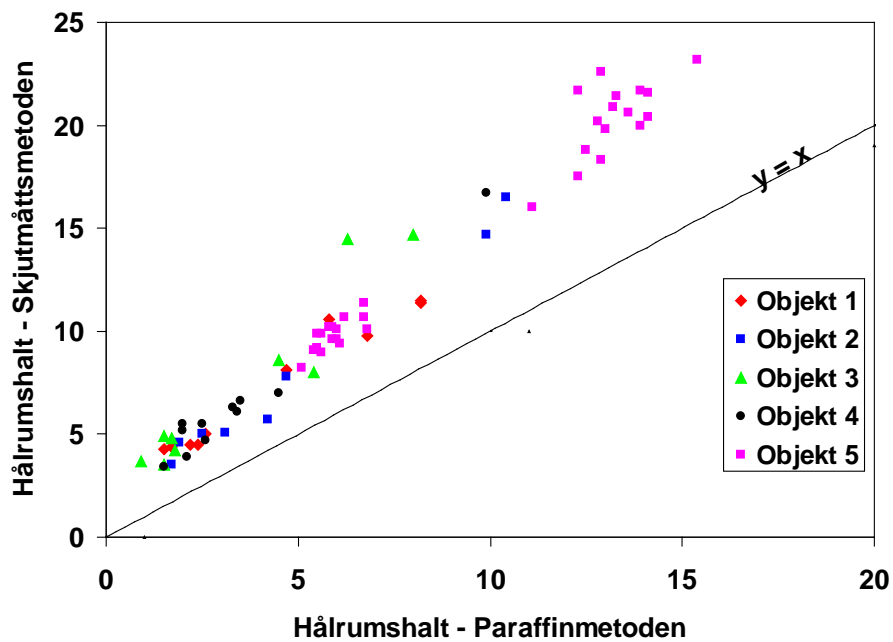
Vattenmetod B överensstämde väl med paraffinmetoden. Avvikelsen uppgick till högst 1,0 % för merparten av de 71 proven. För 11 prov var avvikelsen större än 1,0 % men mindre än 2,0 %. Ett prov (ABb22) avvek med 2,5 %. Se Figur 7.



Figur 7. Jämförelse mellan paraffinmetoden och vattenmetod B för de olika objekten.

Jämförelse av skjutmåttsmetoden med paraffinmetoden

Skjutmåttsmetoden gav genomgående större hålrums haltvärden än paraffinmetoden. Skillnaden mellan metoderna ökade också med ökande hålrums halt. Se Figur 8.

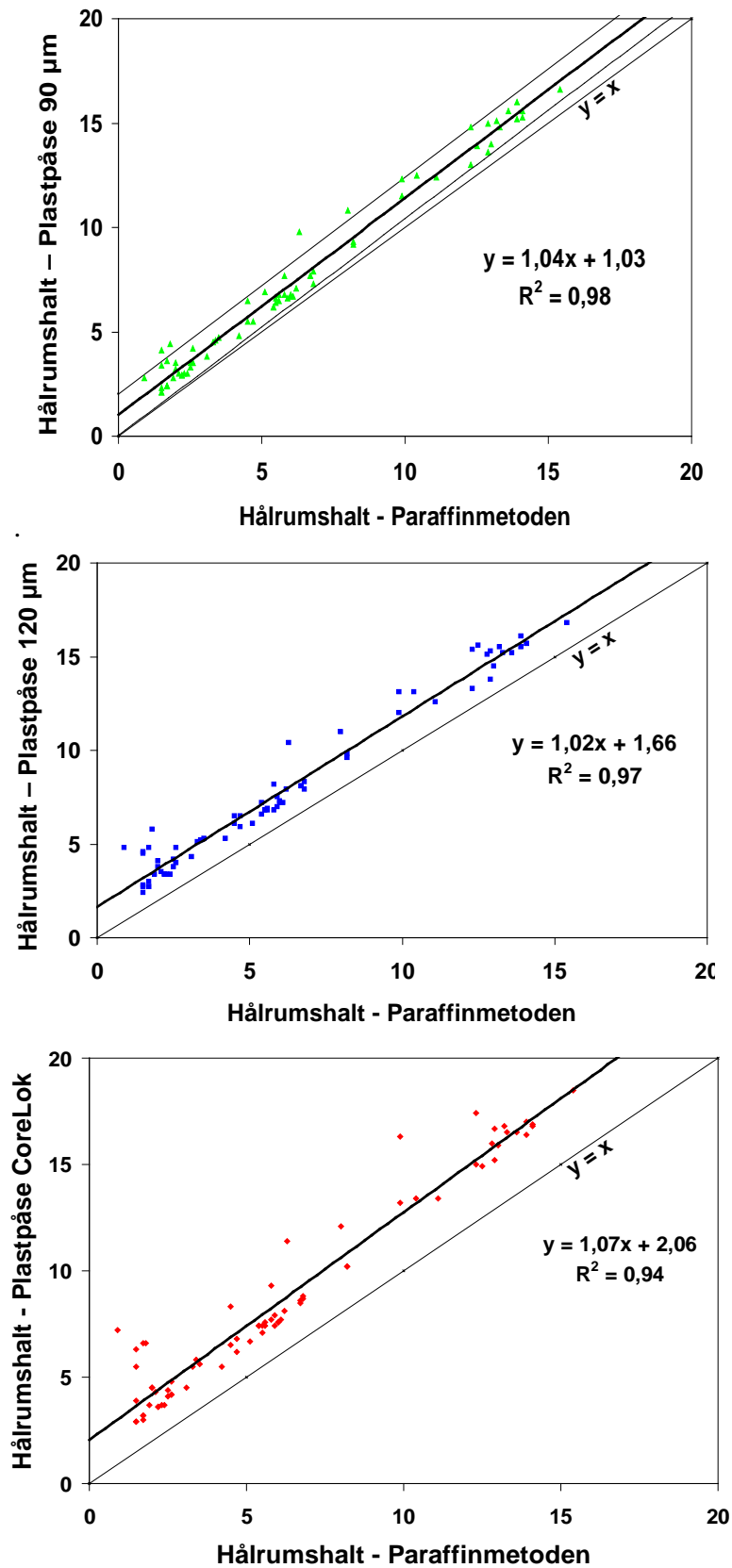


Figur 8. Jämförelse mellan paraffinmetoden och skjutmåttsmetoden för de olika objekten

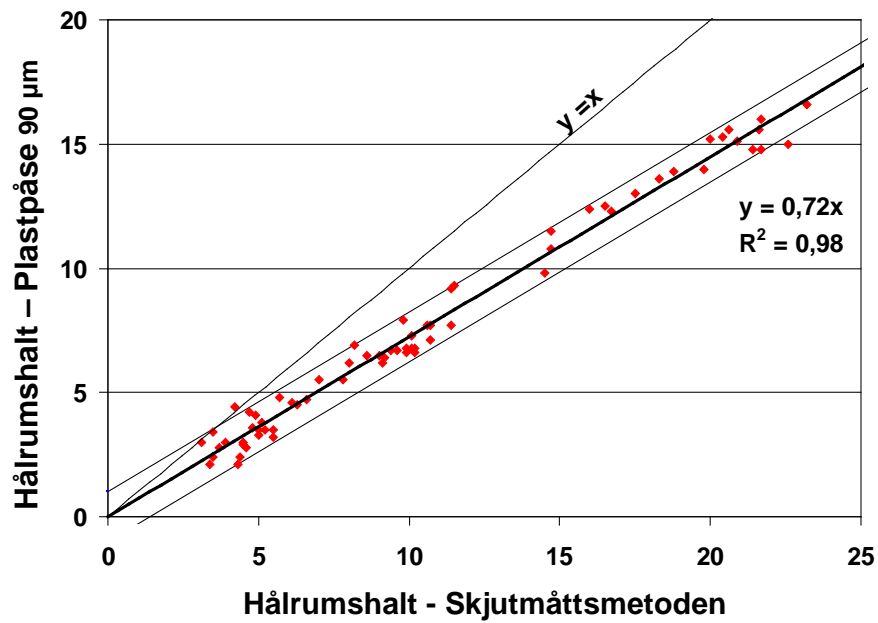
Jämförelse av plastfoliemetoden med paraffinmetoden och skjutmåttsmetoden

Plastfoliemetoden med vakuum korrelerade väl med paraffinmetoden (Se Figur 9). I samtliga fall gav plastfoliemetoden större hålrums haltvärden än paraffinmetoden. Den tunnaste påsen med tjockleken 90 μm gav den bästa överensstämmelsen med paraffinmetoden; hålrums halten blev i genomsnitt ca 1 % större. Den tjockaste påsen (CoreLok) gav som väntat den största avvikelserna från paraffinmetoden eller i genomsnitt ca 2 %.

Plastfoliemetoden korrelerade också väl med skjutmåttsmetoden. Hålrums halten med den tunnaste plastpåsen uppgick till ca 70 % av hålrums halten med skjutmåttsmetoden. Spridningen kring regressionslinjen var liten. Se Figur 10.



Figur 9. Jämförelse av plastfoliemetoden med paraffinmetoden – tre olika påstyper



Figur 10. Jämförelse av plastfoliemetoden (tunnaste plastpåsen) med skjutmåttsmetoden

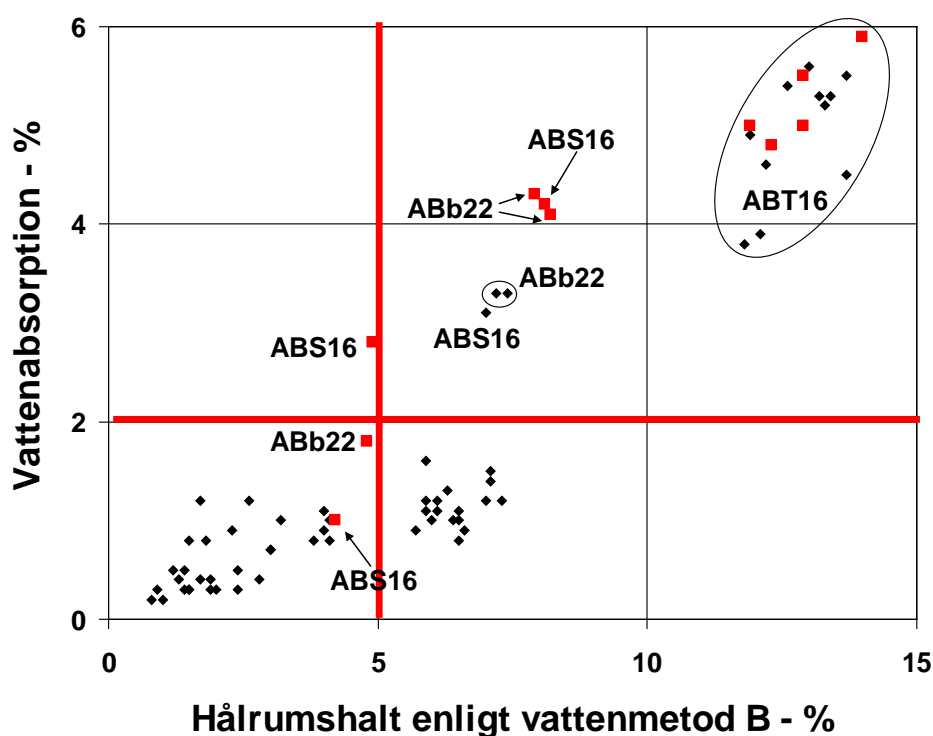
7 Kommentarer och slutsatser

Tillämpning av vattenmetod B

ASTM föreskriver att vattenmetod B kan användas, om vattenabsorptionen är högst 2,0 %. I denna undersökning gav vattenmetod B god överensstämmelse med paraffinmetoden, om vattenabsorptionen hos provkroppen var högst 2,0 % (Se *Figur 11*). Av de nära 50 prov, som hade en vattenabsorption av högst 2,0 %, var det endast två prov som underskattade paraffinmetodens hålrums halt med mer än 1,0 %.

Då vattenabsorptionen var större än 2,0 %, ökade risken för underskattning av hålrums halten. Av de 25 prov, vars vattenabsorption överskred 2,0 %, gav 9 prov en större avvikelse än 1 %. Samtidigt var det 15 prov, som gav god överensstämmelse med paraffinmetoden, vilket antyder att ASTMs vattenabsorptionskriterium kan vara väl strängt.

Av betydelse för vattenmetodens tillförlitlighet är provkroppens förmåga att hålla kvar den vattenmängd som trängt in i provkroppens öppna hålrum vid vattenlagringen. Ju grövre och öppnare provkroppens sammansättning är, desto mer vatten tränger in och desto svårare blir det för provkroppen att hålla kvar absorberat vatten, när provkroppen tas upp ur vattenbadet. Risken för vattenförlust och underskattning av hålrums halten ökar.



Figur 11. Vattenabsorptionen hos provkroppen som funktion av hålrums halten enligt vattenmetod B. Rödmarkerade punkter avser de prov, vars hålrums halt enligt paraffinmetoden var 1,0 % större än motsvarande hålrums halt enligt vattenmetod B ($H_C - H_B > 1,0 \%$).

Vid SBUF-projektet 'Skelettasfalt' 1999 (Ref 14) korrelerade ytstrukturen hos provkroppens översida med skillnaden mellan hålrumshalten enligt skjutmåttmetod D (= H_D) och hålrumshalten enligt vattenmetod B (= H_B). Ytstrukturen bestämdes med 'sand-patch'-metoden. För skillnaden i hålrumshalt (= $H_D - H_B$) gäller följande samband:

$$H_D - H_B = 100(1 - \gamma_D/\rho) - 100(1 - \gamma_B/\rho) = 100(\gamma_B - \gamma_D)/\rho$$

där γ_B = skrymdensiteten enligt vattenmetod B;
 γ_D = skrymdensiteten enligt skjutmåttmetod D;
 ρ = kompaktdensiteten

Nackdelen med ($H_D - H_B$)-parametern är att skrymdensiteten enligt metod B baseras på vattenabsorptionen efter avtorkning av den vattenlagrade provkroppen. Osäkerheten hos denna parameter ökar, när hålrumstrukturen hos provkroppen blir grövre på grund av ökad risk för förlust av absorberat vatten. Dessutom förstörs provkroppen vid bestämningen av kompaktdensiteten.

En säkrare parameter är den öppna hålrumshalten, som ger ett mått på grovleken hos provkroppens hålrumstruktur. Den definieras av den del av provkroppens fiktiva skrymvolym enligt skjutmåttmetod D som fyllts med vatten vid provkroppens nedsänkning i vattenbadet, dvs då maximal vattenabsorption råder.

Den öppna hålrumshalten (= H_δ) beräknas ur sambandet:

$$H_\delta = 100(\gamma_A - \gamma_D)/\gamma_A = 100(1 - \gamma_D/\gamma_A)$$

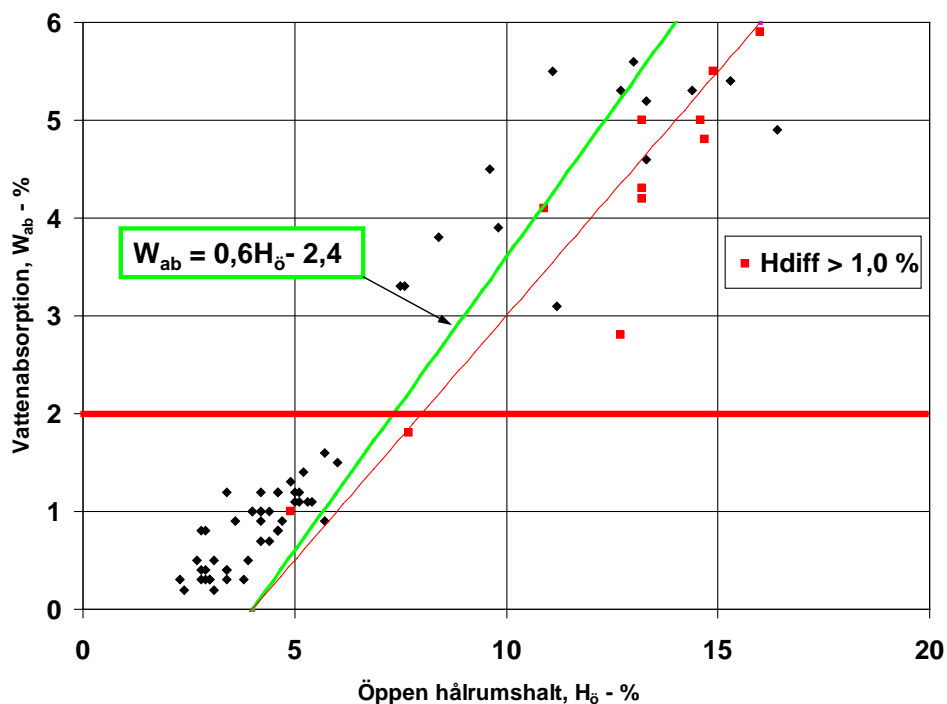
där γ_A = skrymdensitet enligt vattenmetod A;
 γ_D = skrymdensitet enligt skjutmåttmetod D.

Den öppna hålrumshalten är analog med den effektiva porositet, som bestäms enligt en ASTM-metod, baserad på plastfoliemetoden (Ref 14). Med denna metod bestäms först skrymdensiteten enligt plastfoliemetod C genom vägning av provkroppen med plastpåse i vatten. Med provkroppen fortfarande nedsänkt i vattenbadet klipps plastpåsen upp, så att vatten kan sugas in i provkroppen. Provkroppen med plastpåse vägs sedan på nytt i vatten. Den effektiva porositeten (= H_e) beräknas ur sambandet:

$$H_e = 100(1 - \gamma_C/\gamma_S)$$

där γ_C = skrymdensitet enligt plastfoliemetod C;
 γ_S = skenbar skrymdensitet (motsvarar skrymdensiteten enligt vattenmetod A).

I Figur 13 åskådliggörs sambandet mellan vattenabsorptionen och den öppna hålrumshalten för samtliga 72 prov. Prov, vars vattenabsorption ligger till vänster om den gröna heldragna linjen, kan förväntas ge acceptabla resultat med vattenmetoden. Enligt detta kriterium skulle 8 av 23 prov med vattenabsorption över 2,0 % prov ha godkänts för provning med vattenmetod B.



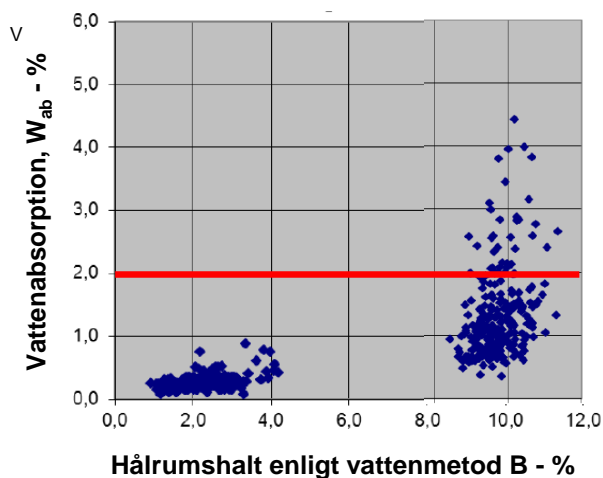
Figur 12. Förslag till utvidgad tillämpning av vattenmetod B. Röda punkter avser prov med $H_{diff} = H_C - H_B > 1,0\%$.

VTI utförde 2000 en omfattande ringanalys av skrymdensitetsmetoderna B, C och D med 54 deltagande väglaboratorier (Ref 15). Proven (borrkärnor med 100 mm diameter) togs ut från fyra provtyper som lagts utanför Skanskas dåvarande provhall i Farsta. Två massatyper (ABS 16 och AG 16) och två packningsförfaranden undersöktes. Se Tabell 7.

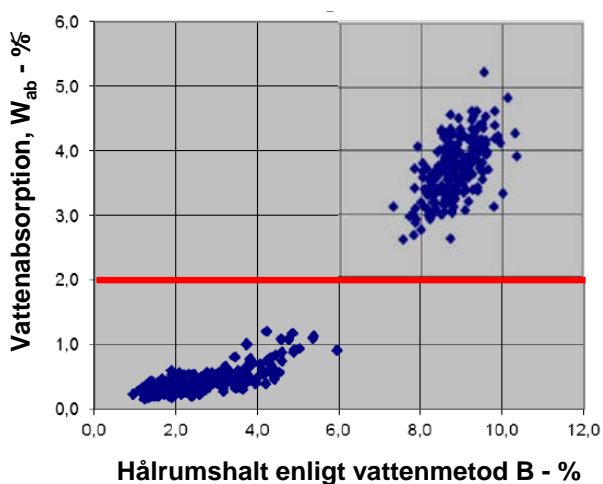
Tabell 7. VTIs ringanalys 2000 av olika skrymdensitetsmetoder.

Prov- yta	Massa- typ	Antal analyserade prov		H_B (%)	W_{ab} (%)
		VTI (metod A och B)	Väglaboratorium (metod B, C och D)		
I	ABS 16	256	≈ 90	1 - 3	< 1
II	AG 16	237	≈ 90	1 - 3	< 1
III	ABS 16	218	76	8 - 9	3 - 5
IV	AG 16	258	88	9 - 10	< 4

VTIs ringanalys 2000 – AG 16



VTIs ringanalys 2000 – ABS 16



Figur 14. Samband mellan vattenabsorption och hålrums halt enligt vattenmetod B vid VTIs ringanalys 2000.

Borrkärnorna skickades till VTI. Där sågades deras undersida så att provkropparnas tjocklek blev ca 40 mm. Sedan bestämdes skrymdensiteten och vattenabsorptionen med vattenmetod B för samtliga provkroppar. Se Figur 14.

Till de deltagande väglaboratorierna skickades två prov från varje provyta. De bestämde skrymdensiteten enligt vattenmetod B, paraffinmetoden och skjutmåttmetod D. Provens vattenabsorption enligt vattenmetod B redovisades dock inte.

Följande parametrar beräknades:

- Skillnaden i hålrums halt mellan väglaboratoriets värde på skrymdensiteten enligt paraffinmetoden och VTIs värde på skrymdensiteten enligt vattenmetod B. Vid denna beräkning användes arbetsreceptets kompakt densitet för massan.
- Provkroppens öppna hålrums halt enligt VTIs värde på skrymdensiteten enligt metod A och enligt väglaboratoriets värde på skrymdensiteten enligt skjutmåttmetod D.
- Minsta tillåten vattenabsorption enligt kriteriet: $W_{ab} \geq 0,6H_{\bar{o}} - 2,4$.

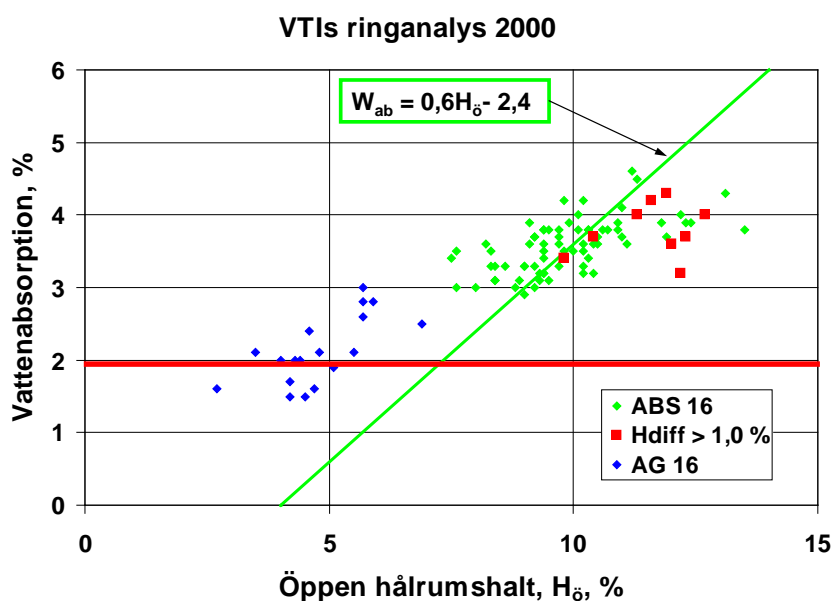
Beräkningarna gav följande resultat:

- För samtliga prov från provytorna I och II (låg hålrums halt och vattenabsorption) var differensen i hålrums halt mellan paraffinmetoden och vattenmetod B mindre än 1,0.
- Vattenabsorptionen var större än 2,0 % för samtliga 76 ABS 16-prov från provyta III (hög hålrums halt). För 9 av proven var differensen i hålrums halt mellan paraffinmetoden och vattenmetod B större än 1,0 %. Med det föreslagna kriteriet skulle 35 prov ha godkänts för provning med vattenmetod B.
- Vattenabsorptionen var större än 2,0 % för 9 AG 16-prov från provyta IV (hög hålrums halt), men inget prov gav en differens i hålrums halt mellan paraffinmetoden och vattenmetod B som var större än 1,0 %. Med det föreslagna kriteriet skulle samtliga prov ha godkänts för provning med vattenmetod B.

I Tabell 8 har resultaten från VTIs båda undersökningar av prov med vattenabsorption > 2,0 % sammanställts. De enskilda provens förhållande till det föreslagna kriteriet framgår av Figur 13 och Figur 15.

Tabell 8. Sammanställning av VTIs resultat för prov med vattenabsorption > 2,0 %.

VTI-studie år	Beläggningstyp	Prov med vattenabsorption > 2,0 %		
		Totalt antal	Antal prov med $H_C - H_B > 1,0$ %	Antal prov med $W_{ab} \geq 0,6H_{\delta} - 2,4$
2000	ABS 16	76	9	35
	AG 16	9	0	9
2012	ABS 16	3	2	0
	ABT 16	16	5	6
	ABb 22	4	2	2



Figur 15. Samband mellan vattenabsorption och öppen hålrums halt för prov med vattenabsorption större än 1,4 %. Röda punkter avser ABS 16-prov med $H_{diff} = H_C - H_B > 1,0$ %.

Plastfoliemetoden med vakuum

Plastfoliemetodens goda korrelation med paraffinmetoden är slående. Den tunnaste plastpåsen (90 µm) gav den bästa överensstämmelsen. I detta fall blev hålrums halten i genomsnitt ca 1 % större än hålrums halten med paraffinmetoden.

Plastfoliemetoden med vakuum är betydligt enklare att utföra än paraffinmetoden. Den kan även användas på öppna beläggningstyper. Precisionen är också jämförbar med den precision som gäller för vattenmetod B. Se rapporterade utländska precisionsdata i Tabell 9-11.

Tabell 9. Precision enligt ASTM för olika metoder för bestämning av skrymdensitet

ASTM-metod	Massans övre kornstorleksgräns D (mm)	Repetierbarhet r	Reproducerbarhet R
D2726 Metod B, vattenmetoden (Ref 13)	12,5	0,023	0,042
	19	0,037	0,042
D6752 Metod C, plastfoliemetod med vakuum (Ref 8)	-	0,035	0,038

Tabell 10. Precision för vattenmetod B enligt EN12697-6 (Ref 4).

Massatyp	Andel korn större än 11,2 mm (=A) (vikt-%)	Repetierbarhet r = 0,001(17+0,3A) (Mg/m ³)	Reproducerbarhet R = 0,001(22+0,6A) (Mg/m ³)
ABT 16	20	0,023	0,032
ABS 16	40	0,029	0,046
ABb 22	46	0,032	0,050

,

Tabell 11. Repetierbarhet, beräknad för skrymdensiteten 2,2 Mg/m³ (Ref 9).

Massatyp	Skrymdensitetsmetod		
	Plastfoliemetod med vakuum (Mg/m ³)	Metod B (Mg/m ³)	Metod D (Mg/m ³)
ABT	0,02	0,03	0,25
ABS	0,02	0,03	0,09
ABD	0,01	0,02	0,07

8 Rekommendationer

Tillämpning av vattenmetod B

Tabell 3-4. Val av procedur B, C eller D vid bestämning av skrymdensiteten enligt SS-EN 12697-6.

Hålrumsintervall %	ABS	ABT	ABD	ABb	AG
0-5,0	B	B	-	B	B
5,1-7,0	C	B	-	B	C
7,1-15,0	C	C	D	C	C
>15,0	-	-	D	-	-

Vattenmetod B ska enligt nu gällande Tabell 3-4 (ovan) i TRVKB 10 (Ref 1) väljas med hänsyn till den enskilda provkroppen förväntade hålrumshalt. I Tabell 12 ges förslag till reviderad tabell, där valet av metod styrs av hålrumshaltskrav, som anges i TRVKB för den aktuella beläggningen.

Den goda överensstämmelsen mellan vattenmetod B och paraffinmetoden för de täta beläggningstyperna ABT, ABS, ABb och AG motiverar en utvidgning av vattenmetodens tillämplighet. Vid grövre hålrumstruktur hos provkroppen (gäller framför allt ABS-beläggningar) ökar dock risken för underskattning av hålrumshalten. Därför föreslås att vattenmetodens tillämpning begränsas till prov, vars vattenabsorption är högst 2,0 %.

Tabell 12. Förslag till reviderad Tabell 3-4 i TRVKB

Hålrumshaltskrav enligt TRVKB (%)	Beläggningstyp	
	ABT, ABS, ABb, AG	ABD
≤ 10	Vattenmetod B, om $W_{ab} \leq 2,0$ % Paraffinmetoden, om $W_{ab} > 2,0$ %	-
> 10	-	Skjutmåttmetod D

ANM W_{ab} = vattenabsorption (kvarvarande vattenhalt efter avtorkning) enligt vattenmetod B

Vattenmetod B kan ge tillförlitliga resultat, även då vattenabsorptionen överstiger 2,0 %. Risken ökar dock för oacceptabel vattenförlust vid bestämningen av vattenabsorptionen. Denna risk kan bedömas på basis av provkroppens öppna hålrumshalt ($=H_0$) och vattenabsorption ($=W_{ab}$).

För provkroppar med 100 mm diameter, sågad undersida och tjocklek 35 - 45 mm kan vattenmetod B förväntas ge godtagbara resultat, om följande kriterium uppfylls:

$$W_{ab} \geq 0,6H_0 - 2,4$$

Plastfoliemetoden med vakuum

Plastfoliemetoden med vakuum bör kunna ersätta paraffinmetoden som referensmetod för bestämning av hålrumshalt hos borrhärnor. En viss justering av Trafikverkets nuvarande kravvärden blir dock nödvändig, eftersom plastfoliemetoden med vakuum ger något större hålrumshaltsvärden än paraffinmetoden.

Nedan följer några förslag på ytterligare undersökningar av plastfoliemetoden med vakuum:

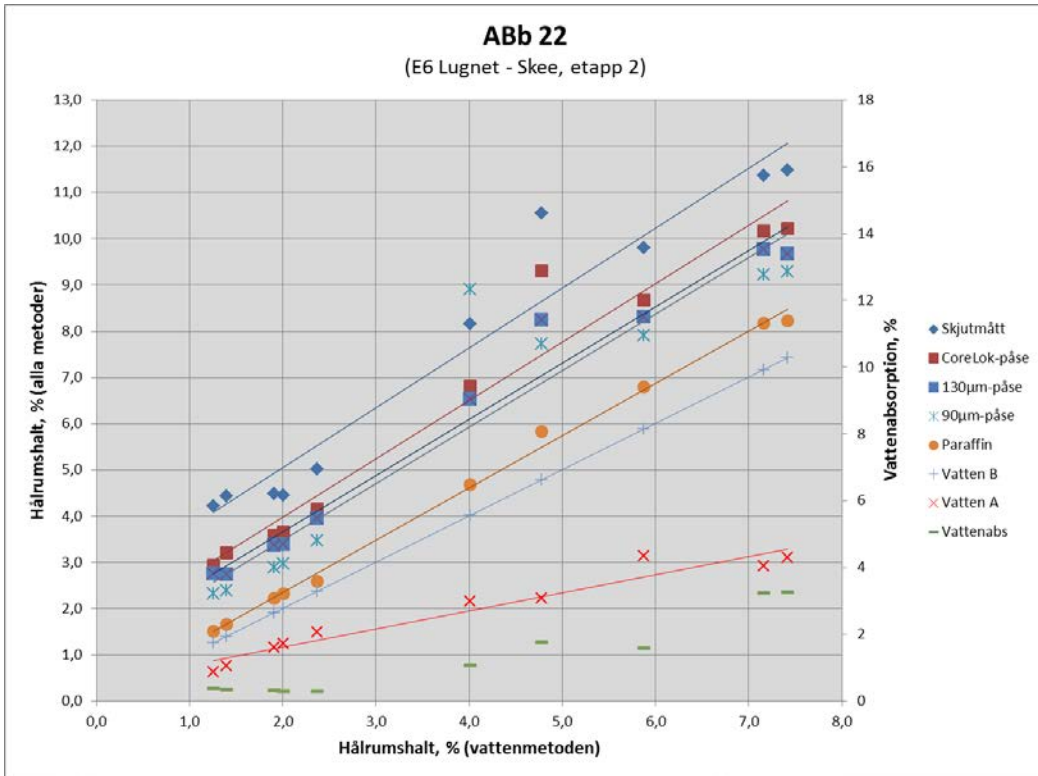
- Val av lämplig vakuumpförpackare – utvärdering av vakuumprestanda;
- Val av lämplig plastpåse - utvärdering av plastmaterialets egenskaper såsom folietjocklek, krypning, punkteringsmotstånd och temperaturkänslighet;
- Dessa studier bör kunna ske på provkroppar av aluminium (densitet $2,7 \text{ Mg/m}^3$) med väldefinierad rätcyindrisk yttre form och olika ytstruktur;
- Kartläggning av den valda plastfoliemetodens överensstämmelse med paraffinmetoden för eventuell justering av nuvarande kravvärden, baserade på paraffinmetoden;
- Ringanalys för utvärdering av metodens precision (repeterbarhet och reproducerbarhet).

9 Referenser

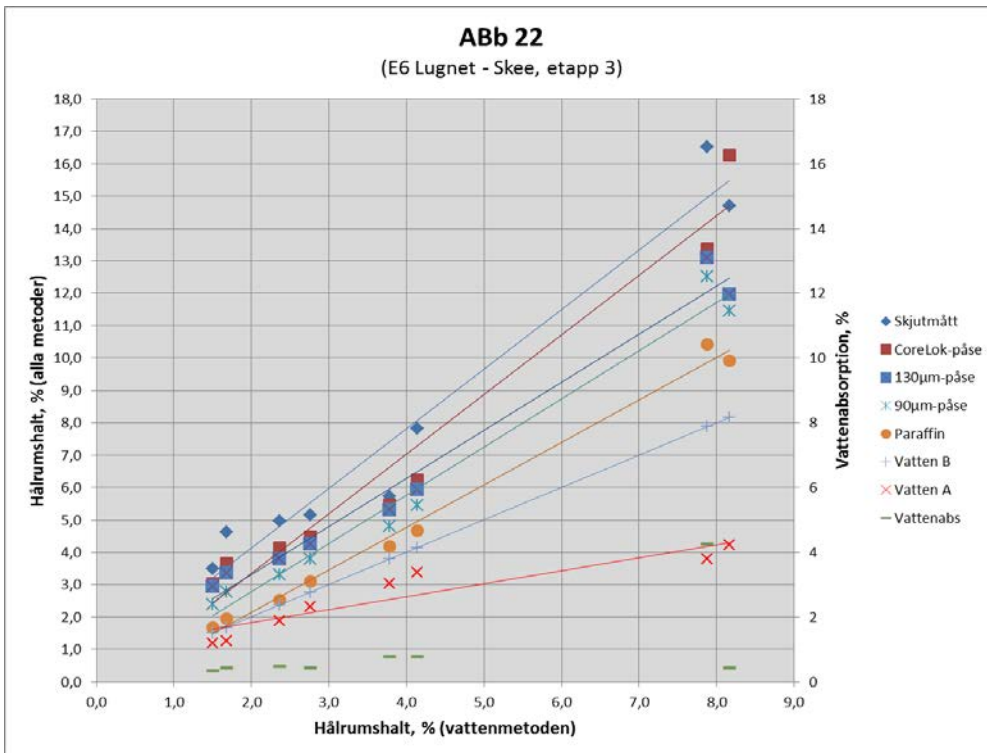
1. TRVKB 10 Bitumenbundna lager. TRV 2011:082
2. Trafikverkets regler för reglering av beläggningsarbeten. TRV 2011:094
3. SS-EN 12697-8 Provningsmetoder för varmblandad asfaltmassa Del 8: Bestämning av hålrumshalt hos asfaltprovkroppar
4. SS-EN 12697-6 Provningsmetoder för varmblandad asfaltmassa Del 6: Bestämning av skrymdensitet hos asfaltprovkroppar
5. SS-EN12697-5 Provningsmetoder för varmblandad asfaltmassa Del 5: Bestämning av kompaktdensitet
6. SS-EN 13108-20 Asfaltmassor - Materialspecifikationer Del 20: Typprovning
7. L.K.Crouch, et al: Bulk Specific Gravity of Compacted Bituminous Mixtures: Finding a More Widely Applicable Method. Tennessee Technological University, RES 1153, 2003
8. ASTM D6752-11 Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Automatic Vacuum Sealing Method, 2011
9. AUSTRROADS Corelok Evaluation, Technical Report, AP-T55-06, 2006
10. Thomas Karlsson: Utvärdering av Corelok, Skanska, SBUF-projekt nr 1039, 2002
11. AUSTRROADS The Influence of Compaction on the Performance of Dense Graded Asphalt, Technical Report AP-T194-11, 2011
12. ASTM D2726-04 Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures, 2004
13. ASTM D1188 Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Paraffin-Coated Specimens, 2007
14. ASTM D7063-11 Standard Test Method for Effective Porosity and Effective Air Voids of Compacted Bituminous Paving Mixture Samples, 2011
15. H. Hakim och L.Viman: Ringanalys 2000, VTI Notat 24-2001
16. N. Ulmgren: Skelettasfalt, NCC, Rapport 98-5 Asfalt, Projekt (2003-95) SBUF, 1999.

Bilaga

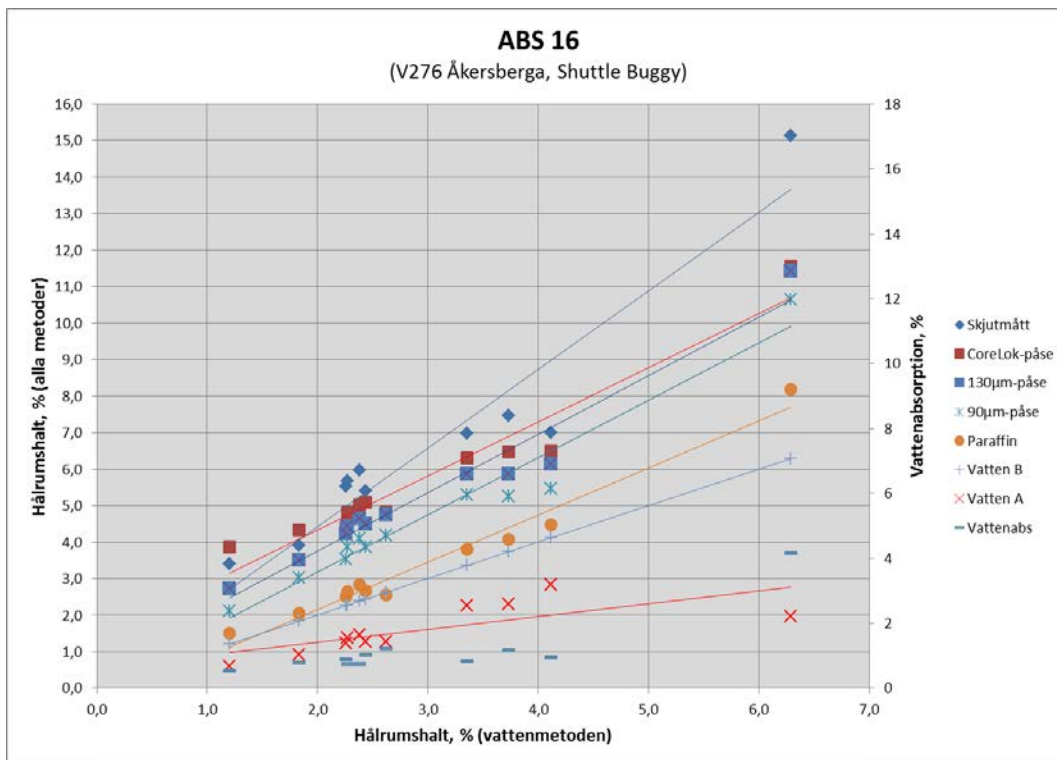
Enskilda värden i tabell och diagramform



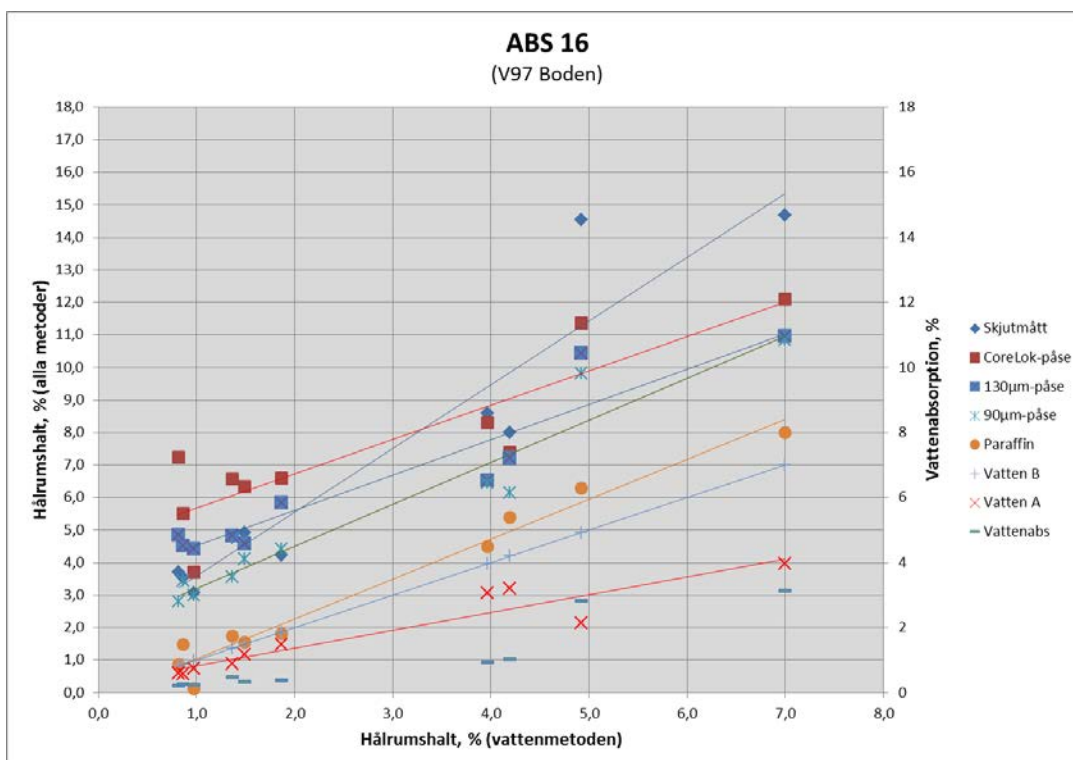
Vattenabsorption och hålrums halt (bestämd med olika skrymdensitetsmetoder)
 ABb 22, från E6 Lugnet-Skee, etapp 2



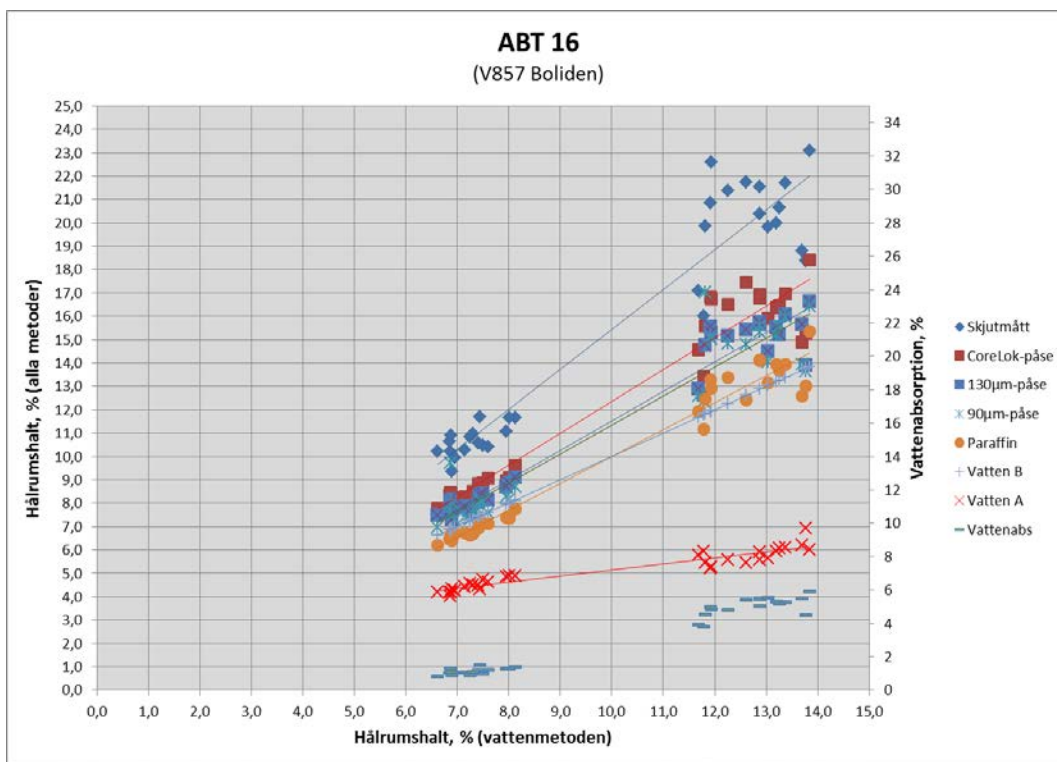
Vattenabsorption och hålrums halt (bestämd med olika skrymdensitetsmetoder)
 ABb 22, från E6 Lugnet-Skee, etapp 3



Vattenabsorption och hålrums halt (bestämd med olika skrymdensitetsmetoder)
ABS 16, från V276 Åkersberga (Shuttle Buggy)



Vattenabsorption och hålrums halt (bestämd med olika skrymdensitetsmetoder)
ABS 16, från V97 Boden



Vattenabsorption och hålrums halt (bestämd med olika skrymdensitetsmetoder)

BT 16, från V857 Boliden

Regressionsparametrar a och b för sambanden mellan olika metoder för bestämning av skrymdensitet. (x = vattenmetoden).

Objekt	Bel.typ	Metod	Förklaringsgrad R^2	$y = a * x + b$				
				a	b	y (vid $x=3$)	y (vid $x=5$)	y (vid $x=7$)
E6, etapp 2	ABb 22	skjutmått	0,94	1,29	2,45	6,3	8,9	11,5
		CoreLok	0,95	1,26	1,45	5,2	7,8	10,3
		130 µm	0,97	1,21	1,24	4,9	7,3	9,7
		90 µm	0,87	1,22	1,04	4,7	7,1	9,6
		paraffin	1,00	1,13	0,09	3,5	5,7	8,0
		vatten A	0,94	0,54	0,55	2,2	3,2	4,3
E6, etapp 3	ABb 22	skjutmått	0,96	1,84	0,44	6,0	9,7	13,3
		CoreLok	0,96	1,84	-0,35	5,2	8,9	12,6
		130 µm	0,98	1,49	0,32	4,8	7,8	10,7
		90 µm	0,98	1,49	-0,19	4,3	7,2	10,2
		paraffin	0,99	1,31	-0,50	3,4	6,1	8,7
		vatten A	0,86	0,40	1,01	2,2	3,0	3,8
V276, Åkersberga (shuttle buggy)	ABS 16	skjutmått	0,93	1,81	1,11	6,6	10,2	13,8
		CoreLok	0,96	1,35	1,77	5,8	8,5	11,2
		130 µm	0,97	1,43	1,04	5,3	8,2	11,1
		90 µm	0,97	1,41	0,50	4,7	7,6	10,4
		paraffin	0,99	1,22	-0,21	3,4	5,9	8,3
		vatten A	0,54	0,40	0,62	1,8	2,6	3,4
V97 Boden	ABS 16	skjutmått	0,90	1,96	1,62	7,5	11,4	15,3
		CoreLok	0,78	1,05	4,62	7,8	9,9	12,0
		130 µm	0,90	1,08	3,44	6,7	8,9	11,0
		90 µm	0,94	1,29	1,92	5,8	8,4	11,0
		paraffin	0,97	1,23	-0,20	3,5	5,9	8,4
		vatten A	0,89	0,55	0,28	1,9	3,0	4,1
V857 Boliden	ABT 16	skjutmått	0,92	1,71	-1,65	3,5	6,9	10,3
		CoreLok	0,94	1,36	-1,29	2,8	5,5	8,3
		130 µm	0,96	1,26	-1,08	2,7	5,2	7,7
		90 µm	0,91	1,24	-1,05	2,7	5,1	7,6
		paraffin	0,97	1,15	-1,50	2,0	4,3	6,6
		vatten A	0,90	0,36	3,58	4,7	5,4	6,1

E6 Skee, etapp 2, ABb 22

Provbet	Dimensioner		Skrymdensitet, Mg/m ³							Kompakt-densitet	
	∅	Tjocklek	Vatten A	Vatten B	FAS 411	Vakuum					Skjut-mått
	mm	mm			Paraffi	90µm	130µm	Corelo	150µm		%
PB1-1	100,4	47,5	2,373	2,365	2,360	2,339	2,327	2,322	2,312	2,301	2,423
PB1-2	100,7	49,1	2,383	2,376	2,368	2,353	2,343	2,336	2,335	2,317	2,425
PB1-3	100,7	46,6	2,370	2,363	2,356	2,34	2,328	2,323	2,285	2,301	2,409
PB2-4	99,9	47,1	2,390	2,382	2,375	2,358	2,349	2,338	2,293	2,308	2,415
PB2-5	100,1	48,2	2,394	2,385	2,379	2,359	2,349	2,345	2,31	2,313	2,416
PD1-1	100,5	46,5	2,334	2,258	2,238	2,212	2,203	2,189	2,190	2,158	2,438
PD1-2	100,5	46,3	2,329	2,291	2,269	2,242	2,232	2,223	2,228	2,196	2,435
PD2-4	100,0	46,3	2,378	2,336	2,310	2,264	2,251	2,225	2,223	2,194	2,453
PD3-6	101,3	46,1	2,383	2,306	2,280	2,255	2,241	2,231	2,232	2,201	2,484
PD4-10	101,1	47,7	2,373	2,347	2,331	2,228	2,286	2,279	2,269	2,246	2,445

Provbet	Vatten abs	Hålrums halt, %							Skjut-mått
		Vatten A	Vatten B	FAS 411	Vakuum				
	%			Paraffi	90µm	130µm	Corelo	150µm	
PB1-1	0,3	2,1	2,4	2,6	3,5	4,0	4,2	4,6	5,0
PB1-2	0,3	1,7	2,0	2,4	3,0	3,4	3,7	3,7	4,5
PB1-3	0,3	1,6	1,9	2,2	2,9	3,4	3,6	5,1	4,5
PB2-4	0,3	1,0	1,4	1,7	2,4	2,7	3,2	5,1	4,4
PB2-5	0,4	0,9	1,3	1,5	2,4	2,8	2,9	4,4	4,3
PD1-1	3,3	4,3	7,4	8,2	9,3	9,6	10,2	10,2	11,5
PD1-2	1,6	4,4	5,9	6,8	7,9	8,3	8,7	8,5	9,8
PD2-4	1,8	3,1	4,8	5,8	7,7	8,2	9,3	9,4	10,6
PD3-6	3,3	4,1	7,2	8,2	9,2	9,8	10,2	10,1	11,4
PD4-10	1,1	3,0	4,0	4,7	8,9	6,5	6,8	7,2	8,1

E6 Skee, etapp 3, ABb 22

Provbet	Dimensioner		Skrymdensitet, Mg/m ³							Kompakt-densitet	
	∅	Tjocklek	Vatten A	Vatten B	FAS 411	Vakuum					Skjut-mått
	mm	mm			Paraffi	90µm	130µm	Corelo	150µm		%
SB1-1	101,0	46,6	2,434	2,424	2,417	2,397	2,382	2,375	2,344	2,351	2,465
SB1-2	101,0	47	2,429	2,421	2,417	2,399	2,385	2,383	2,337	2,372	2,458
SB2-5	101,1	49,3	2,408	2,389	2,379	2,364	2,351	2,347	2,315	2,341	2,483
SB4-8	101,1	51,1	2,413	2,402	2,398	2,379	2,367	2,358	2,335	2,338	2,460
SD1-11	100,9	49,2	2,418	2,407	2,399	2,382	2,370	2,364	2,353	2,348	2,475
SD1-1	101,0	48,2	2,407	2,388	2,375	2,355	2,343	2,336	2,339	2,296	2,491
SD4-7	100,8	48,9	2,389	2,287	2,224	2,173	2,158	2,151	2,154	2,073	2,483
SD4-9	100,8	49,8	2,381	2,282	2,239	2,201	2,188	2,081	2,171	2,120	2,485

Provbet	Vatten abs	Hålrums halt, %							
		Vatten A	Vatten B	FAS 411	Vakuum				Skjut-mått
	%			Paraff	90µm	130µm	Corelo	150µm	
SB1-1	0,4	1,3	1,7	1,9	2,8	3,4	3,7	4,9	4,6
SB1-2	0,3	1,2	1,5	1,7	2,4	3,0	3,0	4,9	3,5
SB2-5	0,8	3,0	3,8	4,2	4,8	5,3	5,5	6,8	5,7
SB4-8	0,5	1,9	2,4	2,5	3,3	3,8	4,1	5,1	5,0
SD1-11	0,4	2,3	2,8	3,1	3,8	4,3	4,5	4,9	5,1
SD1-1	0,8	3,4	4,1	4,7	5,5	5,9	6,2	6,1	7,8
SD4-7	4,3	3,8	7,9	10,4	12,5	13,1	13,4	13,2	16,5
SD4-9	4,1	4,2	8,2	9,9	11,5	12,0	16,3	12,7	14,7

V97 Boden, ABS 16

Provbet	Dimensioner		Skrymdensitet, Mg/m ³							Kompakt- densitet	
	Ø	Tjocklek	Vatten A	Vatten B	FAS 411	Vakuum					Skjut- mått
	mm	mm			Paraffi	90µm	130µm	Corelo	150µm		%
B1-5	99,3	40,2	2,374	2,366	2,365	2,304	2,2920355	2,250		2,284	2,402
B1-6	99,4	37,8	2,374	2,362	2,353	2,309	2,2797429	2,237		2,281	2,395
B2-6	99,1	35,3	2,335	2,314	2,301	2,253	2,2519248	2,209		2,202	2,409
B3-5	99,7	37,5	2,370	2,365	2,364	2,318	2,2692568	2,212		2,296	2,385
B4-6	99,4	37,6	2,388	2,381	2,366	2,319	2,2929876	2,270		2,317	2,402
D1-5	98,8	36,7	2,302	2,229	2,205	2,137	2,1343589	2,107		2,045	2,397
D1-6	99,0	36,3	2,349	2,282	2,249	2,164	2,1496468	2,127		2,051	2,400
D2-6	99,0	43,7	2,335	2,311	2,282	2,264	2,2379516	2,234		2,219	2,412
D3-4	99,3	37,7	2,372	2,366	2,387	2,318	2,2842279	2,301		2,316	2,390
D4-6	99,4	37,0	2,370	2,361	2,362	2,299	2,2655977	2,247		2,304	2,406

Provbet	Vatten abs	Hålrums halt, %							Skjut- mått
		Vatten A	Vatten B	FAS 411	Vakuum				
	%			Paraffi	90µm	130µm	Corelo	150µm	
B1-5	0,3	1,2	1,5	1,5	4,1	4,6	6,3		4,9
B1-6	0,5	0,9	1,4	1,7	3,6	4,8	6,6		4,8
B2-6	0,9	3,1	4,0	4,5	6,5	6,5	8,3		8,6
B3-5	0,2	0,6	0,8	0,9	2,8	4,8	7,2		3,7
B4-6	0,3	0,6	0,9	1,5	3,4	4,5	5,5		3,5
D1-5	3,1	4,0	7,0	8,0	10,8	11,0	12,1		14,7
D1-6	2,8	2,1	4,9	6,3	9,8	10,4	11,4		14,5
D2-6	1,0	3,2	4,2	5,4	6,2	7,2	7,4		8,0
D3-4	0,2	0,7	1,0	0,1	3,0	4,4	3,7		3,1
D4-6	0,4	1,5	1,9	1,8	4,4	5,8	6,6		4,2

V276 Åkersberga, ABS 16

Provbet	Dimensioner		Skrymdensitet, Mg/m ³							Kompakt- densitet	
	Ø	Tjocklek	Vatten A	Vatten B	FAS 411	Vakuum					Skjut- mått
	mm	mm			Paraffi	90µm	130µm	Corelo	150µm		%
1-2	99,7	34,7	2,434	2,421	2,414	2,399	2,383	2,356	2,283	2,367	2,450
3-1	99,7	28,1	2,400	2,371	2,372	2,332	2,319	2,317	2,238	2,319	2,434
3-2	99,7	27,8	2,400	2,380	2,375	2,352	2,340	2,320	2,254	2,330	2,425
3-5	99,7	31,7	2,396	2,375	2,369	2,344	2,327	2,323	2,241	2,296	2,430
4-1	99,6	31,9	2,412	2,392	2,381	2,343	2,329	2,319	2,257	2,302	2,428
4-2	99,7	29,8	2,412	2,384	2,375	2,346	2,331	2,316	2,231	2,292	2,424
5-2	99,6	33,8	2,374	2,276	2,230	2,170	2,151	2,148	2,130	2,061	2,475
6-1	99,7	33,9	2,421	2,403	2,394	2,364	2,350	2,341	2,264	2,320	2,477
6-2	99,8	34,1	2,403	2,385	2,374	2,343	2,330	2,320	2,243	2,297	2,459
7-3	99,6	36,2	2,390	2,365	2,360	2,330	2,315	2,301	2,112	2,293	2,443
8-2	99,7	34,2	2,368	2,345	2,336	2,312	2,296	2,287	2,242	2,275	2,446

Provbet	Vatten abs	Hålrums halt, %							Skjut- mått
		Vatten A	Vatten B	FAS 411	Vakuum				
	%			Paraffi	90µm	130µm	Corelo	150µm	
1-2	0,5	0,7	1,2	1,5	2,1	2,7	3,9	6,9	3,4
3-1	1,2	1,4	2,6	2,6	4,2	4,8	4,8	8,1	4,7
3-2	0,8	1,0	1,8	2,1	3,0	3,5	4,3	7,0	3,9
3-5	0,9	1,4	2,3	2,5	3,5	4,2	4,4	7,8	5,5
4-1	0,8	0,7	1,5	2,0	3,5	4,1	4,5	7,1	5,2
4-2	1,2	0,5	1,7	2,0	3,2	3,8	4,5	8,0	5,5
5-2	4,2	4,1	8,1	9,9	12,3	13,1	13,2	13,9	16,7
6-1	0,7	2,2	3,0	3,3	4,5	5,1	5,5	8,6	6,3
6-2	0,7	2,3	3,0	3,5	4,7	5,3	5,6	8,8	6,6
7-3	1,0	2,2	3,2	3,4	4,6	5,2	5,8	13,5	6,1
8-2	1,0	3,2	4,1	4,5	5,5	6,1	6,5	8,3	7,0

AC857 Boliden, 90ABT 16

Provbet	Dimensioner		Skrymdensitet, Mg/m ³							Kompakt- densitet	
	∅	Tjocklek	Vatten A	Vatten B	FAS 411	Vakuum			Skjut- mått		
	mm	mm			Paraffi	90µm	130µm	Corelo	150µm		%
1-1	99,3	35,1	2,298	2,187	2,161	2,123	2,115	2,081		1,960	2,493
1-2	99,1	31,5	2,302	2,190	2,166	2,113	2,106	2,070		1,924	2,486
1-3	99,1	37,5	2,292	2,177	2,147	2,116	2,107	2,079		1,989	2,499
1-4	99,1	41,9	2,303	2,177	2,147	2,108	2,105	2,076		1,960	2,498
1-5	99,3	31,2	2,303	2,181	2,169	2,116	2,113	2,090		1,971	2,518
1-6	99,2	42,6	2,288	2,202	2,218	2,187	2,181	2,161		2,096	2,496
1-7	99,2	42,5	2,293	2,174	2,164	2,116	2,125	2,094		1,989	2,506
1-9	98,8	35,3	2,324	2,208	2,176	2,128	2,117	2,085		1,984	2,507
1-10	99,1	37,1	2,292	2,170	2,152	2,120	2,112	2,090		2,000	2,500
1-11	98,9	32,9	2,312	2,187	2,193	2,132	2,117	2,066		1,958	2,502
1-12	99,5	40,0	2,292	2,156	2,119	2,091	2,086	2,041		1,925	2,506
1-13	99,4	36,2	2,300	2,210	2,206	2,187	2,180	2,138		2,075	2,514
1-14	99,5	35,5	2,312	2,207	2,192	2,076	2,133	2,113		2,005	2,514
1-15	99,0	43,9	2,304	2,176	2,175	2,151	2,140	2,104		2,006	2,501
1-16	99,3	42,2	2,260	2,158	2,178	2,161	2,154	2,121		2,043	2,500
2-1	99,1	38,8	2,333	2,303	2,318	2,295	2,285	2,278		2,226	2,452
2-2	99,4	38,2	2,361	2,331	2,339	2,259	2,299	2,291		2,247	2,486
2-3	99,5	38,6	2,340	2,312	2,325	2,312	2,298	2,275		2,242	2,495
2-4	99,2	35,0	2,353	2,328	2,336	2,320	2,308	2,296		2,254	2,488
2-5	99,7	38,1	2,356	2,331	2,342	2,314	2,312	2,294		2,236	2,482
2-6	99,4	37,6	2,332	2,299	2,310	2,285	2,275	2,262		2,210	2,474
2-7	99,2	37,8	2,351	2,330	2,344	2,301	2,320	2,306		2,268	2,471
2-8	99,2	37,3	2,338	2,315	2,325	2,301	2,292	2,281		2,240	2,462
2-9	99,8	37,9	2,356	2,337	2,349	2,328	2,315	2,308		2,247	2,499
2-10	99,4	38,7	2,345	2,317	2,330	2,309	2,301	2,282		2,238	2,463
2-11	99,6	37,2	2,356	2,330	2,340	2,312	2,308	2,292		2,230	2,476
2-12	99,2	40,2	2,331	2,302	2,320	2,298	2,280	2,274		2,211	2,474
2-13	99,6	39,0	2,348	2,324	2,335	2,317	2,306	2,295		2,245	2,485
2-14	99,5	36,8	2,345	2,320	2,336	2,312	2,312	2,290		2,228	2,480
2-15	99,6	38,0	2,342	2,321	2,338	2,320	2,310	2,302		2,231	2,485
2-16	99,3	38,3	2,351	2,316	2,325	2,301	2,293	2,282		2,210	2,493

Provbet	Vatten abs	Hålrums halt, %							
		Vatten A	Vatten B	FAS 411	Vakuum				Skjut- mått
		%		Paraff	90µm	130µm	Corelc	150µm	
1-1	4,8	7,8	12,3	13,3	14,8	15,2	16,5		21,4
1-2	4,9	7,4	11,9	12,9	15,0	15,3	16,7		22,6
1-3	5,0	8,3	12,9	14,1	15,3	15,7	16,8		20,4
1-4	5,5	7,8	12,9	14,1	15,6	15,7	16,9		21,6
1-5	5,3	8,5	13,4	13,9	16,0	16,1	17,0		21,7
1-6	3,8	8,3	11,8	11,1	12,4	12,6	13,4		16,0
1-7	5,2	8,5	13,3	13,6	15,6	15,2	16,5		20,6
1-9	5,0	7,3	11,9	13,2	15,1	15,5	16,8		20,9
1-10	5,3	8,3	13,2	13,9	15,2	15,5	16,4		20,0
1-11	5,4	7,6	12,6	12,3	14,8	15,4	17,4		21,7
1-12	5,9	8,6	14,0	15,4	16,6	16,8	18,5		23,2
1-13	3,9	8,5	12,1	12,3	13,0	13,3	15,0		17,5
1-14	4,6	8,0	12,2	12,8	17,4	15,1	16,0		20,2
1-15	5,6	7,9	13,0	13,0	14,0	14,5	15,9		19,8
1-16	4,5	9,6	13,7	12,9	13,6	13,8	15,2		18,3
2-1	1,2	4,9	6,1	5,5	6,4	6,8	7,1		9,2
2-2	1,3	5,0	6,3	5,9	9,2	7,5	7,9		9,6
2-3	1,2	6,2	7,3	6,8	7,3	7,9	8,8		10,1
2-4	1,0	5,4	6,4	6,1	6,7	7,2	7,7		9,4
2-5	1,1	5,1	6,1	5,6	6,8	6,8	7,6		9,9
2-6	1,4	5,8	7,1	6,7	7,7	8,1	8,6		10,7
2-7	0,9	4,8	5,7	5,1	6,9	6,1	6,7		8,2
2-8	1,0	5,1	6,0	5,6	6,5	6,9	7,4		9,0
2-9	0,8	5,7	6,5	6,0	6,8	7,3	7,6		10,1
2-10	1,2	4,8	5,9	5,4	6,2	6,6	7,4		9,1
2-11	1,1	4,9	5,9	5,5	6,6	6,8	7,4		9,9
2-12	1,2	5,8	7,0	6,2	7,1	7,9	8,1		10,7
2-13	1,0	5,5	6,5	6,0	6,7	7,2	7,6		9,6
2-14	1,1	5,4	6,5	5,8	6,8	6,8	7,7		10,2
2-15	0,9	5,7	6,6	5,9	6,6	7,0	7,4		10,2
2-16	1,5	5,7	7,1	6,7	7,7	8,1	8,5		11,4

VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportsystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovsningsanläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.

