SBUF/SKANSKA

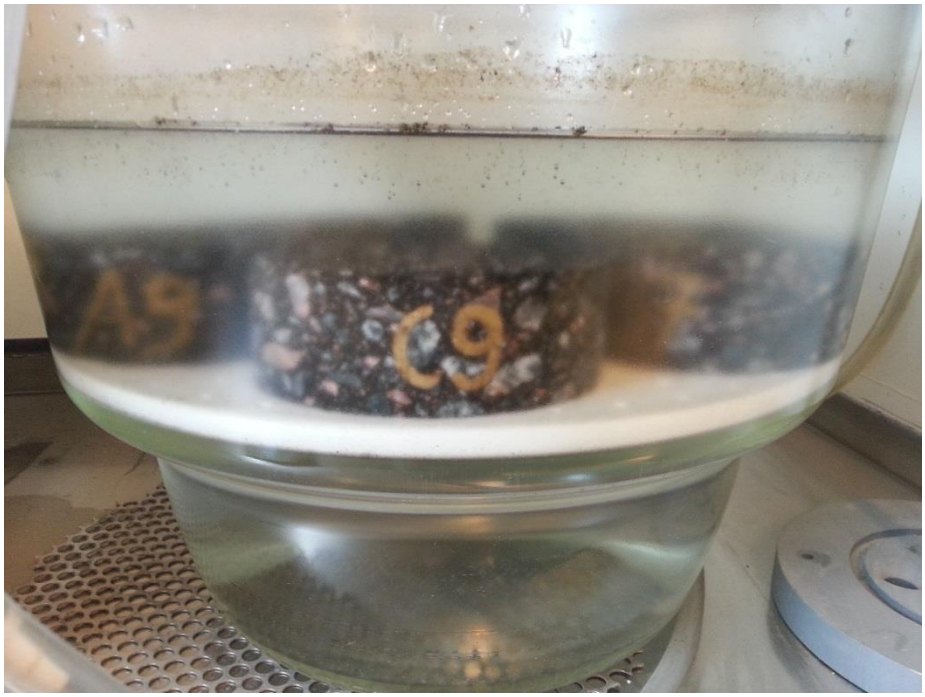
Utredning optimal konditionering och provnings-temperatur vid bestämning av vattenkänslighet.

Datum
2016-08-14

Författare
Patryk Witkiewicz – Skanska

Skanska Sverige AB
Teknik – Vägtekniskt Centrum
Box 49
123 21 Farsta
Tel: 010-448 78 67

Beteckning
13125



SBUF TRAFIKVERKET SKANSKA

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD **2**
SAMMANFATTNING **3**
1. BAKGRUND **4**
2. SYFTE OCH MÅL **5**
3. METOD ÖVERSYN **5**
4. GENOMFÖRANDE **7**
4.1 FÖRUTSÄTNINGAR FÖR PROJEKTET 7
4.2 FRAMSTÄLLNING OCH BEREDNING AV PROVER 8
4.2.1 Tillverkning av asfaltmassor 8
4.2.2 Provtillverkning (tillverkning av plattor/Marshallprovkroppar) 10
4.3 ANALYSER 12
4.3.1 Skrymdensitet 12
4.3.2 Vattenmättning 12
4.3.3 Mätning av provkroppar 13
4.3.4 Konditionering i vattenbad 14
4.3.5 Lufttorkning, mätning och vägning efter konditionering 14
4.3.6 Konditionering i tempereringsskåp 15
4.3.7 Pressdragprovning 15
4.3.8 Beräkning av indirekt draghållfasthetindex 16
5. RESULTATREDOVISNING **16**
5.1 ETAPP I 16
5.2 ETAPP II 22
6. SLUTSATSER **26**
7. BILAGOR 27
a. Tabell med beräkningar av noggrannhetskrav för etapp I (enligt SS-EN12697-23) 27
b. Tabell med beräkningar av noggrannhetskrav för etapp II (enligt SS-EN12697-23). 29
c. Bilder på brutna provkroppar efter vattenkänslighets test (borrade ur från platta, testade i 25°C, testad massa – AG16 med fyra olika bitumensorter) 30
d. Bilder på brutna provkroppar efter vattenkänslighets test (Marshallprovkroppar, testade i 25°C, testad massa – AG16 med fyra olika bitumensorter) 31
e. Bilder på brutna provkroppar efter vattenkänslighets test (Marshallprovkroppar, testade i 15°C, testad massa – AG16 med fyra olika bitumensorter) 32
f. Bilder på brutna provkroppar efter vattenkänslighets test (Marshallprovkroppar, testade i 10°C, testad massa – AG16 med fyra olika bitumensorter) 33
g. Sammanställning av alla resultaten för etapp I 34
h. Sammanställning av alla resultaten för etapp II 38

Förord

Detta projekt har varit samfinansierat mellan SBUF, Trafikverket och Skanska. Det operativa arbetet inom projektet har letts av en styrgrupp med representanter från Skanska, Trafikverket, NCC, PEAB och Q8. Skanska har varit sammanhållande med projektledare och styrgruppen har bestått av följande personer:

Patryk Witkiewicz,	Skanska Teknik	*Projektledare*
Kenneth Olsson,	Skanska Teknik	
Kenneth Lind,	Trafikverket	
Leif Viman,	VTI	
Kenneth Vikström,	NCC	
Mats Wendel,	Peab	
Jonas Tjärnhell,	Q8	

Undersökningen har utförts vid Skanska Teknik- Vägtekniskt Centrum, laboratorium Farsta. Projektledaren har själv varit med vid framtagandet av proverna samt utfört analyserna. Vid 2016 års Metoddagar presenterades delar av projektet. Projektet startades i Maj 2015 och avslutades i augusti 2016.

Ett varmt tack för stort engagemang till alla involverade i projektet.

/Patryk Witkiewicz

Sammanfattning

Vattenkänslighet är en viktig metod för att bedöma vidhäftningsegenskaper av asfaltmassa. Den visar hur känslig asfaltmassan är i närvaro vatten. I Sverige brukar man utföra testet enligt Trafikverkets krav på färdigt lager av asfaltmassa enligt TRVMB704 där konditionerings-/provningstemperatur skiljer sig åt mot aktuell SS-EN 12697-12 Metod A. Konditionerings-/provningstemperatur i TRVMB704 är bestämd till 10°C och i SS-EN 12697-12 Metod A får man fritt välja temperatur mellan 5°C-25°C. Val av denna temperatur har en viss inverkan på ITSR resultat och kan ge olika resultat för en och samma asfaltmassa. I samband med att SS-EN 12697-12 är ute på 5-års översynen finns en möjlighet att enas om en gemensam konditionerings-/provningstemperatur. Detta projekt avsåg att bidra till vilken konditionering-/provningstemperatur vid bestämning av vattenkänslighet som skulle vara mest lämplig.

Projektet blev utfört i två etapper:

- **etapp I –** Etappen utredde hur stor påverkan har konditioneringstemperatur på ITSR resultat i massan med olika bitumensorter. I denna etapp har sammanlagt fyra olika bitumensorter testats: 35/50, 50/70, 70/100, 160/220 och asfalttypen som valdes ut var en AG16 som med sin relativt låga bitumenhalt (4,8 vikt-%) förmodades ge mest utslag på ITSR. Tre konditionerings-/provningstemperaturer som används mest frekvent ute i Europa valdes ut för testning: 10°C, 15°C, 25°C. Prover tillverkades på två olika sätt (borrkärnor borrade ur från platta och Marshall prover) för att även se om tillverkningsmetod påverkar resultaten. Borrkärnor kapades på bottenändyta och Marshall prover lämnades utan någon sågning. Hålrumshalten siktades på 7 vol-% (övre hålrumsintervallet för AG16). Alla asfaltmassor tillverkades utan vidhäftningsmedel.
- **etapp II –** I den här etappen fokuserades på att jämföra Marshall provkroppar med kapade ändytor (till tjocklek ~40mm) med Marshall provkroppar utan kapning (~60mm) för att se om det påverkar ITSR-resultaten. En jämförelse gjordes även med borrkärnonor (med en kapad bottenändyta till ~40mm) för att se om kapning av Marshall prover ger likvärdiga resultat som borrkärnor eller vanliga Marshallprovkroppar utan kapning. ITSR-analyser utfördes med 2 olika bitumensorter: 35/50, 160/220. Tempererings-/provningstemperatur bestämdes till 15°C (typprovning). Asfalttypen som valdes ut var också AG16. För att se effekten av vidhäftning utfördes också tester med cement som vidhäftningsmedel för de tre olika förfarandena.

Följande slutsatser kan dras från detta projekt:

- Konditionerings- och tempereringstemperaturen har ingen större betydelse vid provning av borrkärnor men har viss betydelse vid provning av Marshallprovkroppar där temperaturen 10°C ger ett lägre värde än 15°C och 15°C ger ett lägre värde än 25°C (hos alla 4 bitumensorter).
- Vid analys av Marshallprovkroppar syns en tydlig trend att hårdare bindemedel ger ett bättre ITSR-tal än ett mjukare bindemedel.
- Vid testning av Marshallprovkroppar märktes att ju mjukare bitumensort i massan desto större inflytande av konditioneringstemperatur på ITSR värde.
- Ingen skillnad på ITSR-talet kunde visas mellan sågade och osågade Marshallprovkroppar.
- Spridning i hålrumshalter hade ingen större betydelse i brottlast (inom grupper) vilken betyder att det inte är den avgörande faktorn för vattenkänsligheten (enligt SS-EN 12697-12).
- Val av tillverkningsmetod har stort inflytande på ITSR resultaten (Marshallprover har helt olika resultat jämfört mot borrkärnor).

1. Bakgrund

Vatten är en av de mest destruktiva atmosfäriska faktorerna som påverkar en asfaltbeläggning i drift. Det tränger sig in i asfaltbeläggningens porer och orsakar försämring av vidhäftningsegenskaper i asfaltmassan och försvagar beläggningskonstruktionen. ITSR-metoden är en testmetod för att bestämma vattenkänslighet hos bituminösa prover d.v.s. kontrollera hur känslig asfaltmassan är vid närvaro av vatten. Förmågan att bibehålla bra vidhäftningsegenskaper över tid är viktig för att erhålla en asfaltbeläggning med lång livslängd.

SS-EN 12697-12 Metod A är en av tre standardiserade provningsmetoder för bestämning av vattenkänslighet i Europa. För svenska förhållanden har SS-EN 12697-12, Metod A visat sig vara bristfällig då den inte diskriminerar asfaltmassa innehållande stenmaterial med dåliga vidhäftningsegenskaper.

Erfarenheterna från FUD Projekt 5512 under ledning av Trafikverket påvisar att en betydande orsak till bristerna i metoden är den föreskrivna konditioneringsproceduren samt provningstemperaturen vid bestämning av pressdraghållfasthet. Det har även konstaterats att val av metod för framställning av provkroppar kan ha stor betydelse vid efterföljande bestämning av vattenkänslighet.

För inledande typprovning enligt SS-EN 13108-20, av vattenkänslighet (ITSR) enligt SS-EN 12697-12 Metod A, gäller för närvarande provningstemperatur +15 ºC vid bestämning av pressdraghållfasthet enligt SS-EN 12697-23. Denna temperatur är till stor del en kompromiss då de europeiska länderna inte har kunnat enas om vilken temperatur som ska gälla i rekommenderat intervall (+5 – +25ºC).

Trafikverket ställer idag krav på färdigt lager av asfaltmassa enligt TRVMB704 där konditionering samt provningstemperatur skiljer sig åt jämfört med SS-EN 12697-12 Metod A. Metoden har tillämpats under flera år i Sverige med goda erfarenheter.

SS-EN 12697-12 är för närvarande under 5-års översyn inom CEN TC227. En framgångsfaktor för att få acceptans för förbättringsförslag av metoder inom Europa är välriktad forskning och dokumenterade resultat.

Ambitionen är att under kontrollerade former i samråd mellan Trafikverket och branschen, införa SS-EN 12697-12, Metod A i Sverige, främst med avseende på inledande typprovning av asfaltmassa och därmed minska kontroll av färdigt lager som idag innebär omfattande borrning på väg. Det innebär samtidigt att provningsinsatserna och verifiering av utlovad produkt kan flyttas till tidigare skede.

2. Syfte och mål

Det huvudsakliga syftet med undersökningen är att förbättra korrelationen mellan provningsresultat i laboratoriet och verklig prestanda på väg.

Målet med undersökningen är att skapa gehör för Sveriges synpunkter och erfarenheter och därmed ge inspel till förbättringsförslag av metoden.

Syftet med projektet var att utreda inverkan av olika provkroppsframställande, olika bitumenhårdheter samt provningstemperaturer vid bestämning av vattenkänslighet enligt SS-EN 12697-12 Metod A. Enligt den gällande europeiska metod idag är det helt fritt att välja tempereringstemperatur i intervall mellan 5°C och 25°C. Det finns inga riktlinjer angående vilken temperatur man borde välja beroende på bitumenhårdhet. I det här projektet utfördes en jämförande studie mellan tre olika tempereringstemperaturer (10°C, 15°C, 25°C), 4 olika bitumenhårdheter och med provkroppar motsvarande borrkärnor samt Marshallprovkroppar. Med optimal provningstemperatur menas den temperatur som tillåter att erhålla distinkt dragbrott utan "flytande" brott och säkerställer liten spridning mellan resultaten.

3. Metod översyn

Idag har vi i Sverige två tillgängliga metoder för att prova vattenkänslighet (ITSR) för bituminösa prover:

- TRVMB704 – metod utgiven av Trafikverket i samarbete med Metodgruppen
- SS-EN 12697-12 – europeisk standard

Trafikverket föreskriver TRVMB 704 och ställer krav på färdigt lager av asfaltmassa. Metoden är koncis och tydlig och har lite tuffare villkor att uppfylla än den europeiska standarden.

I tabell 1 presenteras skillnader i förfarandet mellan de två metoderna. I den europeiska metoden väljs konditioneringstemperatur innan pressdragprovningen fritt mellan 5ºC och 25°C medan den svenska metoden är bestämd till 10°C. I detta projekt har tre olika konditioneringstemperatur används: 10°C, 15°C och 25°C. En annan skillnad är 3 dygns vattenlagring istället för 7 dygn enligt TRVMB704. En tredje avsevärd skillnad är att vacuummättningen av provkropparna utförs 6 ggr längre tid med metod TRVMB704.

Skillnader i metoder visas i Tabell 1.

Tabell 1: Metod skillnader – jämförelse mellan TRVMB704 och SS-EN 12697-12, Metod A.

	TRVMB704	**SS-EN 12697-12, Metod A**
Antal prover	**10**	**Min. 6**
Diameter på provkroppar	**100±3 mm (för alla massor)** **150±5 mm (alternativt)**	**80±2 mm (för ≤11 massor),** **100±3 mm, (för 16, 22 massor)** **150±3 mm, (för 16, 22 massor)** **160±3 mm, (för 16, 22 massor)**

Tillverkning av provkroppar	Framställ 10 st. provkroppar • Marshallpackning (EN 12697-30): 2 x 35 slag, • Gyratorisk packning (EN 12697-31): 50 roterande, • Vibropackning (EN 12697-32): (80 ± 5) sek, • Platttillverkning (EN 12697-33): 24 överfarter • **Borra upp tio provkroppar med Ø 100±3 alternativt 150±5 mm (ingen metod angiven)**	Framställ 6 st. provkroppar • Marshallpackning (EN 12697-30): 2 x 35 slag, • Gyratorisk packning (EN 12697-31): 50 roterande, • Vibropackning (EN 12697-32): (80 ± 5) sek, • Platttillverkning (EN 12697-33): 24 överfarter • **Borrkärna uttagen från en asfaltyta som överensstämmer med EN 12697-27**.
Skrymdensitet	Medelvärdet för respektive grupp får inte för skrymdensiteten skilja mer än **30 kg/m3.**	Skillnaden mellan den genomsnittliga skrymdensiteten skall inte överstiga **15 kg/m3.** Annars tillverkas ytterligare provkroppar
Vattenmättning	Evakuera till ett absoluttryck av 6,7±0,3 kPa inom 10±1 min., Håll absoluttrycket vid 6,7±0,3 kPa under **3 timmar**. Slå av pumpen och släpp försiktigt in luft i exsickatorn tills atmosfärstryck uppnåtts. Låt provkropparna ligga under vatten ytterligare **30 min.**	Tillämpa ett vakuum för att få ett absolut tryck på (6,7 ± 0,3) kPa inom (10 ± 1) min. Minska trycket långsamt för att undvika expansionsskador av provkroppar. Behåll undertrycket i **(30 ± 5) min**. Släpp långsamt luft in i vacuum exsickatorn. Låt provkropparna vara kvar under vatten i ytterligare **(30 ± 5) min.**
	Notera särskilt om volymökningen vid vattenmättningen är större än 2%. (Volymökningen kan medföra en reduktion i draghållfastheten, som inte har något samband med vattnets inverkan.)	Beräkna volymen hos provkropparna enligt metod EN 12697-6. **Kassera varje provkropp vars volym ökat mer än 2%.**
Konditionering	Termostatstyrt vattenbad med onoggrannheten max 1°C för konditionering av provkroppar vid 40°C. **Lagra i 7 dygn.**	Termostatstyrt vattenbad som kan hålla konditioneringstemperatur på (40 ± 1)°C **och (25 ± 2)°C i närheten av provkropparna.** **Lagra i 3 dygn.**
	Termostatstyrt vattenbad med onoggrannhet max 0,5°C för temperering av provkroppar vid 10,0°C. Temperera den våta gruppen i vattenbad vid 10,0±0,5°C under **minst 4 och högst 6 timmar**. Den torra gruppen tempereras samtidigt torrt vid samma temperatur.	Förvara provkropparna i vattenbadet eller luftkammaren i **minst 2 timmar om provkropparnas diameter är mindre än 150 mm och i minst 4 timmar om provkropparnas diameter är 150 mm** eller större. Temperera provkropparna till provningstemperaturen enligt 7.1.2 och 7.1.3. **Provningstemperaturen skall väljas i intervallet mellan 5°C och 25°C** med en tolerans av ± 2°C där (25 ± 2)°C är den rekommenderade standardtemperaturen för provningen. *Anm*. För att uppnå största inverkan från bindemedlets vidhäftning och minimera inverkan från brutna ballastkorn i brottytan rekommenderas en standardtemperatur av 25°C vid provningen.
	Provkropparna skall befinna sig minst **5 cm under vattenytan.**	Provkropparna skall förvaras med sina överytor mer än **20 mm under vattenytan**.
Visuell bedömning av vidhäftning	Vidhäftningen kan bedömas visuellt genom att försiktigt dra isär de bägge halvorna av provkroppen och studera stenarnas täckningsgrad i brottytan. Om den visuella bedömningen av vidhäftningen skall rapporteras, **beskriv stenarna som ”avklädda”, ”delvis avklädda” eller ”täckta med bindemedel”, samt ange ev. brott i sten.**	Observation av brottstyp (metod A) (distinkt indirekt dragbrottslinje, flyttande brott, eller en combination), **observation av bindemedels beläggningsgrad på ytan av exponerade aggregat, och observationer av brottskadat eller krossad aggregat;**

4. Genomförande

4.1 Förutsättningar för projektet

Arbetet bestod i att laboratorieblanda och tillverka asfaltsplattor för urborrning av asfaltprovkroppar samt tillverka Marshallprovkroppar för de olika jämförande studierna. Asfalttypen som valdes ut är en AG16 som med sin relativt låga bitumenhalt (4,8 vikt-%) förmodas ge mest utslag på ITSR. En serie bestod av 6 provkroppar delat i två grupper (den våta och torra gruppen). Temperering utfördes i 4 h i klimatskåp. Enligt SS-EN 12697-12 tempereringstid för kärnor med 100 mm diameter är minimum 2 h så i detta försök lagrades prover ytterligare 2 timmar för att säkerställa rätt temperatur i hela provkroppen.

ETAPP I

I etapp I tillverkades 12 serier borrkärnor och 12 serier Marshallprovkroppar. Borrkärnorna togs ur tillverkade asfaltsplattor som utfördes i samband med Marshall tillverkningen. Borrkärnor sågades på bottenyta till ca: 40 mm och Marshallprovkroppar lämnades utan sågning (ca: 60 mm). Hålrumshalterna styrdes till det högre intervallet för en AG16. Asfaltmassan tillverkades utan vidhäftningsbefrämjande medel och med fyra olika bitumenklasser (35/50, 50/70, 70/100, 160/220). Tre tempererings- samt provningstemperaturer (10°C, 15°C, 25°C) undersöktes. En matris över alternativen för Etapp I visas i Tabell 2.

Tabell 2: Matris över provningsalternativ för projektet (ETAPP I).

	ETAPP I					
Bitumenklass	Utan vidhäftningsmedel			Utan vidhäftningsmedel		
	Borrkärnor (sågade ca: 40mm)			Marshall 2x25 (osågade ca: 60mm)		
	Tempereringstemp. (°C)			Tempereringstemp. (°C)		
35/50	+ 10	+ 15	+ 25	+ 10	+ 15	+ 25
50/70	+ 10	+ 15	+ 25	+ 10	+ 15	+ 25
70/100	+ 10	+ 15	+ 25	+ 10	+ 15	+ 25
160/220	+ 10	+ 15	+ 25	+ 10	+ 15	+ 25
Antal serier	12			12		

ETAPP II

I etapp II fokuserades mest på jämförelse mellan Marshallprovkroppar med sågade och osågade ändytor. Målet var att undersöka om sågning av ändytor försämrar den våta draghållfastheten och jämföra mot resultaten från borrkärnor med en sågade ändyta. I etapp 2 testades alla provkroppar vid 15°C (tempererings- och provningstemperatur). Endast två bitumensorter användes, 35/50 (hårdast) och 160/220 (mjukast). En matris över provningen för etapp 2 presenteras i Tabell 3.

Tabell 3: Planerad verksställning för projektet (ETAPP II).

	ETAPP II			
Bitumenklass	Borrkärnor/ Marshall 2x25	Sågning 40mm (JA/NEJ)	Tempererings temp. (°C)	Antal serier
35/50	Borrkärnor	JA	+ 15	1
	Marshall 2x25	JA	+ 15	1
	Marshall 2x25	NEJ	+ 15	1
160/220	Borrkärnor	JA	+ 15	1
	Marshall 2x25	JA	+ 15	1
	Marshall 2x25	NEJ	+ 15	1
160/220 (med cement)	Borrkärnor	JA	+ 15	1
	Marshall 2x25	JA	+ 15	1
	Marshall 2x25	NEJ	+ 15	1
				$\sum = 9$

4.2 Framställning och beredning av prover

4.2.1 Tillverkning av asfaltmassor

- **Samling av material**

Stenmaterial – Stenmaterialet valdes ut med tanke på dåliga vidhäftningsegenskaper med bitumen. Fraktioner som användes i AG16 massan var 0/2, 2/5, 4/8, 8/11 och 11/16. Stenmaterialet karakteriserar sig med högt innehåll av kalifältspat vilket gör att asfaltmassans blir mer vattenkänslig. Valet av stenmaterial gjordes för att få låga ITSR-värden för att kunna se effekten av vidhäftningsmedel användes i etapp II.
Bitumen – fyra bitumenklasser 35/50, 50/70, 70/100 och 160/220 levererades från Q8.
Cement – levererades av Cementa AB.

- **Proportionering**

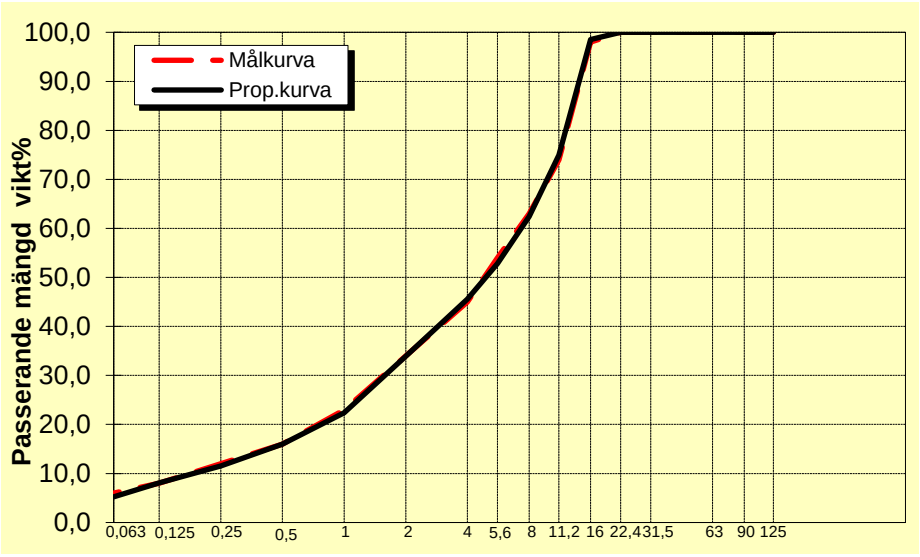
Först utfördes kornstorfördelningsanalys på alla fraktioner som används i projektet och en AG 16 proportionerades enligt TDOK Bitumenbundna lager 2013:0529.

En sammanställning av kornkurvor på olika sten fraktioner samt målkurva och proportionerad kurva på AG16 redovisas i Tabell 4.

Tabell 4: Proportionering av AG 16 med 4,8 vikt-% bitumenhalt.

Sikt (mm)	filler	0-2	2-5	4-8	8-11	11-16	Mål kurva	Prop. kurva
22,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
16	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,0	98,0	98,5
11,2	100,0	100,0	100,0	100,0	87,0	20,0	74,0	75,0
8	100,0	100,0	100,0	93,0	9,0	2,0	63,0	62,4
5,6	100,0	100,0	99,0	27,0	1,0	1,0	54,0	52,8
4	100,0	100,0	42,0	2,0	1,0	1,0	45,0	45,6
2	100,0	79,0	1,0	0,0	0,0	1,0	34,0	34,0
1	100,0	50,0	1,0	0,0	0,0	1,0	23,0	22,4
0,5	100,0	34,0	1,0	0,0	0,0	1,0	16,0	16,0
0,25	99,0	23,0	1,0	0,0	0,0	1,0	12,0	11,6
0,125	90,0	15,0	0,0	0,0	0,0	1,0	8,0	8,1
0,063	67,0	9,2	0,4	0,2	0,2	0,5	6,0	5,2

En proportionerad kurva för AG 16 massa visas i Figur 1.



Figur 1: Proportionerad kornstorfördelningskurva för AG 16, anpassad till målkurva från arbetsrecept.

- **Blandning**

Stenmaterial och bitumen blandades i laboratorieblandare för att få ut den mängd asfaltmassa som räckte för att tillverka en platta och Marshallprovkroppar. Framtagandet av Marshallprovkroppar utfördes i direkt samband med blandningen genom att lägga asfaltmassa i värmeugn tills rätt instampningstemperatur uppnåddes. Vid samtliga blandningsförfaranden hade asfaltmassan den rekommenderade temperaturen beroende på bitumensort. Blandningstiden efter att allt material tillsatts var för alla fall 1 minut på högsta varv (enl. SS-EN 12697-35). Blandning av asfaltmassa i laboratorieblandare visas i Figur 2.

Figur 2: Massablandning i laboratorieblandare.

Ett stickprov på blandning analyserades i asfaltanalysator (kornstorfördelning och bitumenshalt) för att kolla om massan tillverkades på rätt sätt och att den uppfyller krav för AG 16 massa, se tabell 5.

Tabell 5: Resultaten från asfaltanalys för AG 16 50/70 jämfört med målkurva från arbetsrecept.

Sikt (mm)	Mål kurva	AG 16 50/70
22,4	100,0	100,0
16	98,0	98,0
11,2	74,0	75,0
8	63,0	61,0
5,6	54,0	53,0
4	45,0	46,0
2	34,0	34,0
1	23,0	24,0
0,5	16,0	18,0
0,25	12,0	13,0
0,125	8,0	10,0
0,063	6,0	7,5
BH	**4,80**	**4,74**

4.2.2 Provtillverkning (tillverkning av plattor/Marshallprovkroppar)

I projektet tillverkades 216 provkroppar från AG16 asfaltmassa enligt följande:

1. Marshallprovkroppar enl. SS-EN 12697-30 – Marshallstampade prover, antal av slag enl. SS-EN 13108-20 (25 slag på varsin sida), sågade/osågade ändytor (Figur 4).
2. Provkroppar packade med vält enl. SS-EN 12697-33 – borrkärnor borrade ur från åtta rektangulära provplattor, sågad bottenändyta (Figur 5).

AD 1.) Marshallpackning är en av de vanligaste provtillverkningsmetoder och alla laboratorier har denna utrustning. I normala fall stampar man prover 50 gånger på varje sida (eventuellt 35 eller 75) enligt SS-EN 12697-30. I projektet siktade man på hålrumshalt mellan 6-7 vol-% därför minskades antal slag till 25 slag på varsin sida enligt metod för typprovning (SS-EN 13108-20). Instampningstemperatur varierades fr. 140-165°C beroende på bitumenklass använd i asfaltmassa. En och samma person tillverkades alla provkroppar för att säkerställa hög reproducerbarhet (repeterbara förfaranden). 72 Marshallprovkroppar tillverkades i etapp I och 36 i etapp II. Marshallstamp och marshallprovkroppar visades på Figur 4.

Figur 4: Tillverkning av Marshallprovkroppar (2x25 slag)
(enligt SS-EN 12697-30 och SS-EN 13108-20).

AD 2.) För att packa en platta med bestämd hålrumshalt beräknades en exakt mängd asfaltmassa som hälldes i formen. Vältningen utfördes med 24 överfarter eller tills valsen kommer ner till formkanten. Plattan har dimensionerna 650x530x50 mm vilket möjliggör att borra ur 12 stycken borrkärnor (två serier). Borrkärnorna kapades i bottenytan till en tjocklek av 40 mm. 72 borrkärnor tillverkades i etapp I och 36 i etapp II. Packningsprocess av platta och utborrade prover visas i Figur 5.

Figur 5: Tillverkning av plattor och borrning av provkroppar ur platta (enligt SS-EN 12697-33).

4.3 Analyser

4.3.1 Skrymdensitet

Skrymdensitet beräknades för alla provkroppar enligt SS-EN 12697-6, Procedur B. Enligt metoden skall medelvärdet för skrymdensitet i båda grupper (våta och torra gruppen) inte skilja sig mer än 15kg/m^3. Två av tjugofyra serier fick minimalt större skillnader (17 kg/m^3 och 22 kg/m^3). På grund av brist i material och eftersom avvikelser i skrymdensitet var så små bestämdes att inte kassera proverna. I detta fall kontrollerades att spridningarna i draghållfastheten inte blev för stora mellan enskilda provkroppar.

Provkropparnas volym bestämdes enligt SS-EN 12697-29.

4.3.2 Vattenmättning

Varje serie bestod av 6 st. provkroppar som fördelades i två lika grupper (våt resp. torr grupp). Provkropparna från den våta gruppen placerades på den perforerade hyllan i vacuumexsickatorn varpå

destillerat vatten av temperatur 20 ± 5°C hälldes till en nivå 20 mm över provkropparna. Luften evakuerades till ett absoluttryck av 6,7±0,3 kPa inom 10±1 min. Trycket upprätthålldes i 30 ± 5 min och sedan minskades trycket långsamt till atmosfäriskt lufttryck. Provkropparna låg sedan under vatten ytterligare 30 min innan de volym-mättes. Det märktes inga fel på provkropparna efter vattenmättning och inga provkroppar behövde att kasseras. Vakuum exsickator med prover i syns på Figur 6.

Figur 6: Provkroppar i vakuum exsickator, under vatten, undertrycket på 6,7kPa (enligt SS-EN 12697-12).

4.3.3 Mätning av provkroppar

De vattenmättade provkropparnas volym bestämdes genom mätning av tjocklek och diameter enligt EN12697-29. Efter mätning stoppades proverna direkt i 40-gradigt vattenbad för konditionering i 3 dygn.

Figur 7: Marshallprovkroppar upptagna från vakuum exsickator och redo för volymmätning (enligt SS-EN 12697-29).

4.3.4 Konditionering i vattenbad

Konditionering för våt grupp utfördes i 68-72 timmar i (40 ± 1)°C i vattenbad (Figur 8). Torr grupp lades på platt bänk i rumstemperatur (20 ± 5)°C.

Figur 8: Konditionering av provkroppar i vattenbad i 40°C i 68-72 timmar (enligt SS-EN 12697-12).

4.3.5 Lufttorkning, mätning och vägning efter konditionering

Efter konditionering kan provkroppar svälla och öka i volym och därför genomfördes volymmätning efter konditionering. Provkropparnas volym bestämdes enligt SS-EN 12697-29.

I den europeiska metoden står det inte att man borde mäta vattenabsorption i prover, men för projektets skull bestämdes att göra avsteg från den metoden och räkna vattenabsorption enligt TRVMB704. Det innebär att våta prover lämnades på bänken för en timme och sedan vägdes. Den vikten jämfördes sedan med den torra vikten.

Figur 9: Provkroppar tagen ur från vattenbad och redo för volymmätning (enligt SS-EN 12697-29).

4.3.6 Konditionering i tempereringsskåp

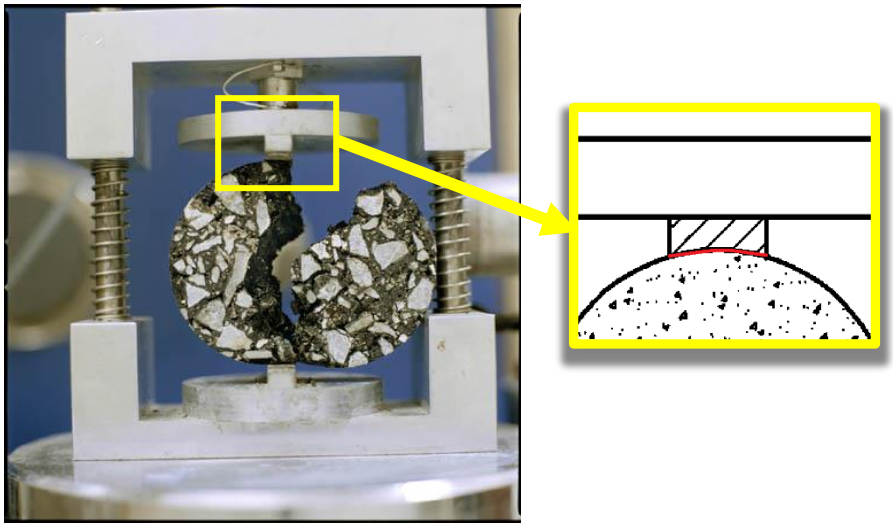
Denna del av analysen innebär att konditionering av den våta gruppen sker i vattenbad i tempereringsskåp (Figur 10) vid viss temperatur (10, 15, 25) ±2°C under minst 2 timmar för prover med Ø100 mm (i vårt fall låg de i 4 timmar för att säkerställa rätt temperatur inuti provkropp). Den torra gruppen tempereras samtidigt torrt vid samma temperatur.

Val av konditionerings-/provningstemperatur har stor effekt på nivå av draghållfasthetsvärdet.

Figur 10: Tempereringsskåp.

4.3.7 Pressdragprovning

Hos de våta provkropparna torkar man av ytorna med en handduk och fortsätter omedelbart med bestämningen av den indirekta draghållfastheten hos provkropparna enligt förfarandet i SS-EN 12697-23. Den indirekta draghållfasthetsprovningen skall utföras inom 1 min, efter det att provkroppen har tagits ur det konditionerande vattnet. Torra gruppen trycks enligt samma förfarande. Testhuvudet och foten måste vara anpassad till formen av provkroppens mantelyta, d.v.s. en konkav belastningsyta, se figur 11.



Figur 11: Testriggen för indirekt draghållfasthet.

4.3.8 Beräkning av indirekt draghållfasthetindex

Indirekt draghållfasthetsindex beräknas enligt formel (enligt SS-EN 12697-12):

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_{våt}}{ITS_{torr}}$$

där

- $ITSR$ är indirekt draghållfasthetsindex i %, heltal;
- $ITS_{våt}$ är medelvärde av indirekt draghållfastheten hos den våta gruppen i [kPa];
- ITS_{torr} är medelvärde av indirekt draghållfastheten hos den torra gruppen i [kPa].

Och indirekt draghållfasthet (ITS) beräknas enligt följande formel (enligt SS-EN 12697-23):

$$ITS = \frac{2\ P}{\pi\ D\ H}$$

där

- ITS är indirekt draghållfastheten uttryckt i gigapaskals [GPa], avrundat till tre signifikanta siffror;
- P är brottlast uttryckt i kilonewton [kN], avrundat till tre signifikanta siffror;
- D är diameter av provet, uttryckt i millimeters [mm], till en decimals noggrannhet;
- H är höjden av provet, uttryckt i millimeter [mm], till en decimals noggrannhet.

5. Resultatredovisning

5.1 ETAPP I

I etapp I har sammanlagt 24 st. ITSR-analyser utförts med 4 olika bitumensorter. Samtliga medelvärden av 3 provkroppar presenteras i sammanställning nedan (Tabell 6). I bilaga 1 finns alla enskilda resultat med avvikelser.

Tabell 6: Sammanställning av resultaten för ETAPP I.

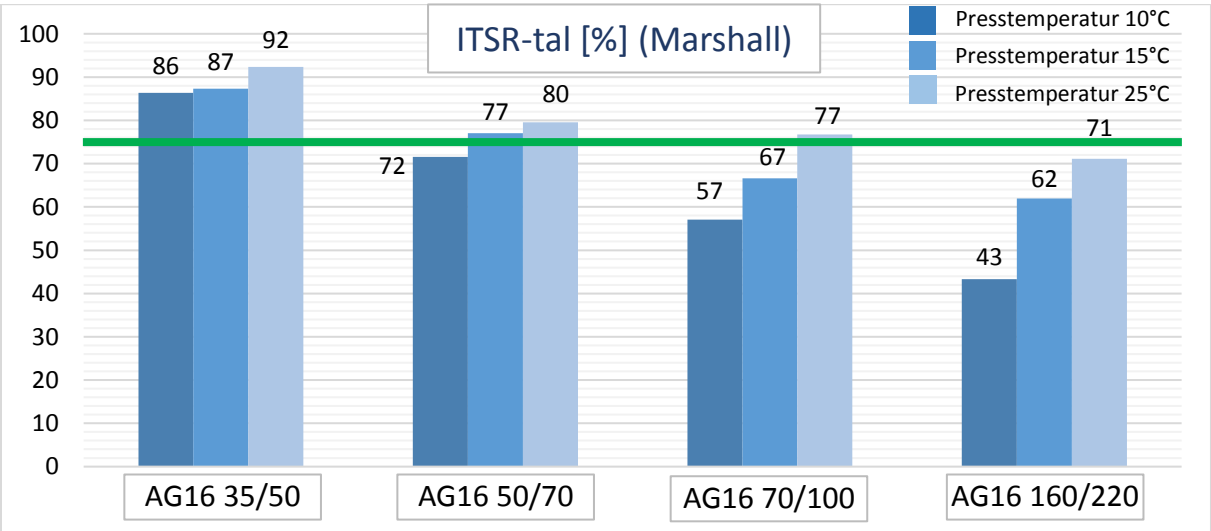
Bitumen sort	Packnings metod	Tempererings temp. (°C)	Skrymdensitet (g/cm3)		Hålrumshalt (%)		Brottlast (N)		Draghållfasthet (kPa)		ITSR (%)
			Torr	Våt	Torr	Våt	Torr	Våt	ITS torr	ITS våt	
35/50	Borrkärnor	10	2,387	2,370	5,4	6,0	22774	9724	3534	1522	**43**
		15	2,388	2,386	5,3	5,4	17850	9140	2724	1408	**52**
		25	2,324	2,331	7,8	7,6	5551	3048	863	467	**54**
	Marshall 2x25	10	2,371	2,371	6,0	6,0	33548	28974	3251	2806	**86**
		15	2,387	2,374	5,4	5,9	31147	27066	2990	2610	**87**
		25	2,342	2,351	7,1	6,8	17512	16149	1682	1554	**92**
50/70	Borrkärnor	10	2,359	2,368	6,4	6,1	17215	7972	2722	1282	**47**
		15	2,352	2,348	6,7	6,9	11303	5929	1765	924	**52**
		25	2,343	2,355	7,1	6,6	4835	1571	755	250	**33**
	Marshall 2x25	10	2,344	2,347	7,0	6,9	32242	23067	3089	2210	**72**
		15	2,349	2,345	6,8	7,0	26208	20244	2516	1938	**77**
		25	2,344	2,344	7,1	7,0	12518	9885	1193	950	**80**

70/100	Borrkärnor	10	2,343	2,341	7,2	7,3	11745	4736	1846	741	**40**
		15	2,353	2,350	6,8	6,9	8080	3307	1265	514	**41**
		25	2,356	2,346	6,6	7,1	3287	1237	508	191	**38**
	Marshall 2x25	10	2,366	2,357	6,2	6,6	28890	16471	2794	1594	**57**
		15	2,365	2,379	6,3	5,7	21072	13992	2050	1365	**67**
		25	2,351	2,354	6,8	6,7	9357	7151	899	689	**77**
160/220	Borrkärnor	10	2,327	2,349	7,7	6,9	6556	3615	1029	571	**55**
		15	2,331	2,339	7,6	7,2	3952	2412	625	376	**60**
		25	2,369	2,383	6,1	5,5	2078	577	324	90	**28**
	Marshall 2x25	10	2,351	2,339	6,8	7,2	18353	7989	1769	767	**43**
		15	2,346	2,348	7,0	6,9	11506	7050	1096	679	**62**
		25	2,371	2,365	6,0	6,2	5296	3769	510	363	**71**

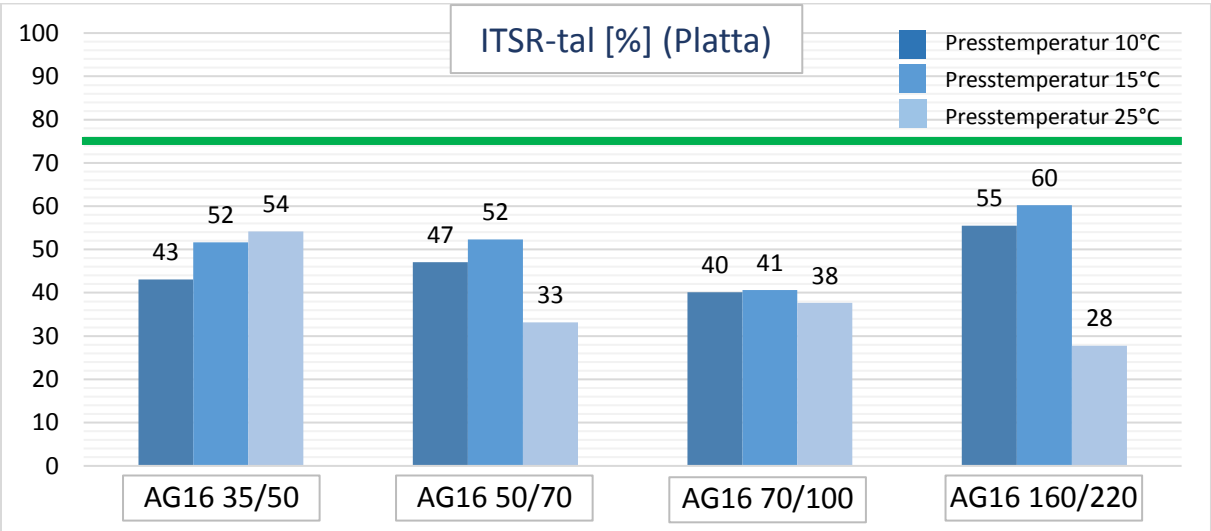
Kommentarer:

Noggrannhet på ITS värdena räknas enligt SS-EN12697-23. Kontrollen innebär att alla enskilda ITS värdena skall hamna inom 17% från medelvärdet inom grupp (torr eller våt grupp i serie). Alla resultaten i etapp I uppfyller noggrannhetskravet. Medelvärde på hålrumshalt hos borrkärnor och Marshall provkroppar ligger på ca: 6,6 vol-% med liten spridning. Kompaktdensiteten är uttagen från receptvärdet.

ITSR-talet presenteras i grafisk form i figurerna nedan. I Figur 12 visas ITSR-resultaten för Marshallprovkroppar och på Figur 13 för borrkärnor. Grön horisontell linje, vilken ligger på 75% ITSR-tal, visar gränslinje för dagens kravnivå enligt TDOK 2013:0529.



Figur 12: ITSR-tal utryckt i % för Marshallprover.



Figur 13: ITSR-tal utryckt i % för prover borrade ur från platta.

Kommentarer:

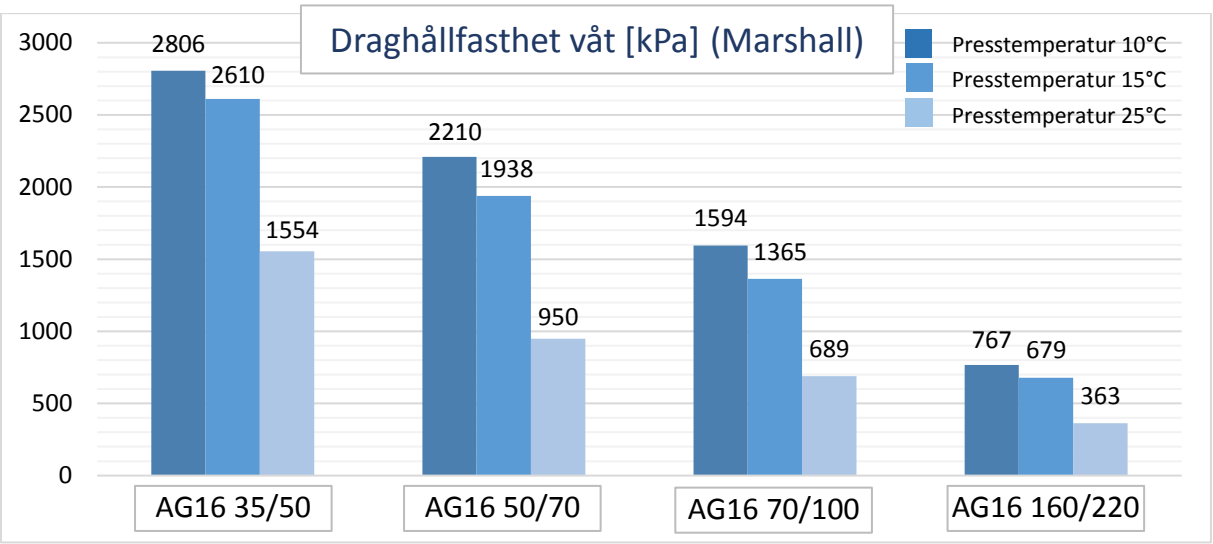
För Marshallprovkroppar:

- Ju mjukare bitumensort desto lägre ITSR värden (inom en tempererings-/presstemperatur). Och linjär korrelation mellan dem bitumensorterna är väldig bra.
- Ju mjukare bitumensort desto större skillnad i ITSR värde mellan olika tempererings-/presstemperaturer.
- Tre av fyra asfaltmassor testad vid 25°C (tempererings-/presstemperatur) är godkända (ligger ovanför 75%) och även den fjärde massan (160/220) kom nästan upp till kravnivån (71%), trots att stenmaterialet är vattenkänsligt, hålrumshalten var hög samt att inget vidhäftningsmedel användes.

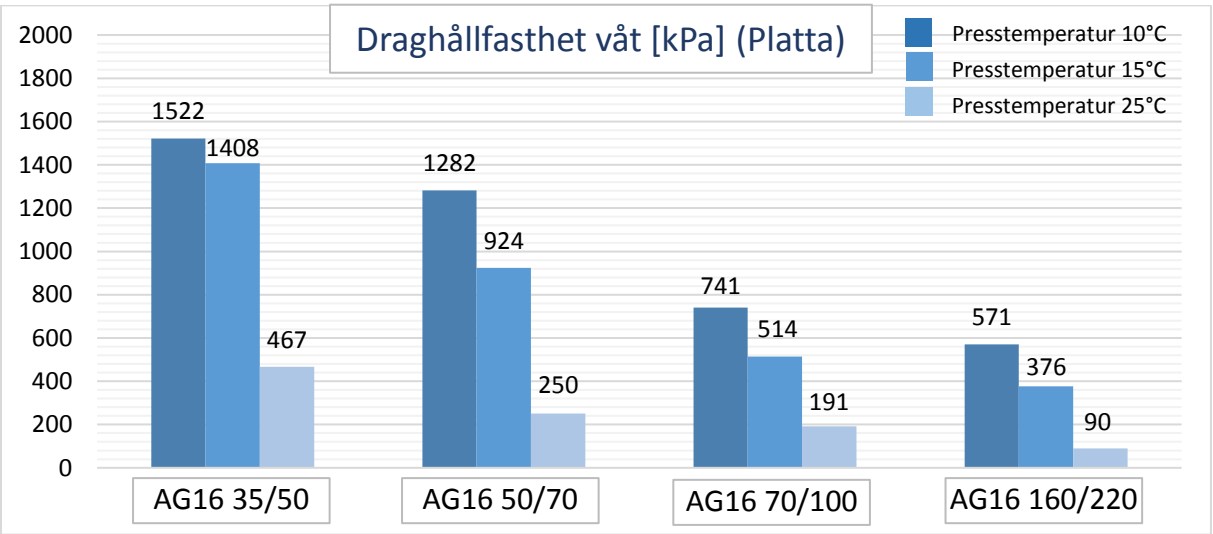
För borrkärnor utborrad från platta:

- Alla prover är underkända oberoende av vilken tempererings-/presstemperatur eller bitumensort som använts.
- Resultaten för 10°C och 15°C ligger väldig nära varandra för alla bitumensorter medan resultaten för 25°C varierade. Ytterligare ett försök utfördes vid 25°C och i stort sett erhölls samma resultat (44% 35/50, 31% 50/70, 39% 70/100 samt 35% 160/220).

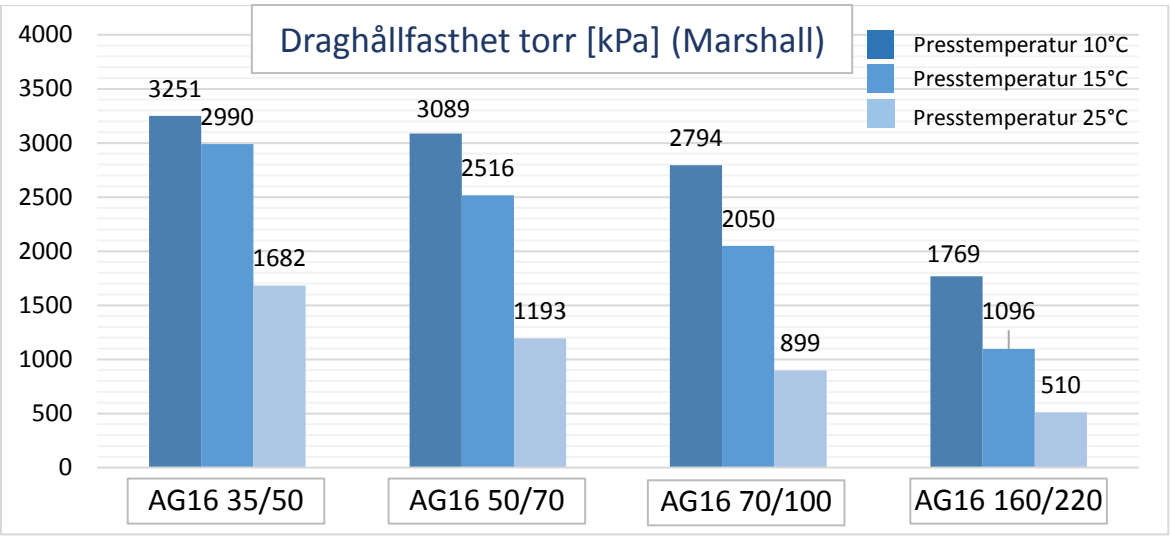
I Figur 14 och 15 visas draghållfasthet för våta grupper (Figur 14 – Marshall provkroppar, Figur 15 – borrkärnor), och Figur 16 och 17 visar draghållfasthet för torra grupper (Figur 16 – Marshallprovkroppar, Figur 17 – borrkärnor).



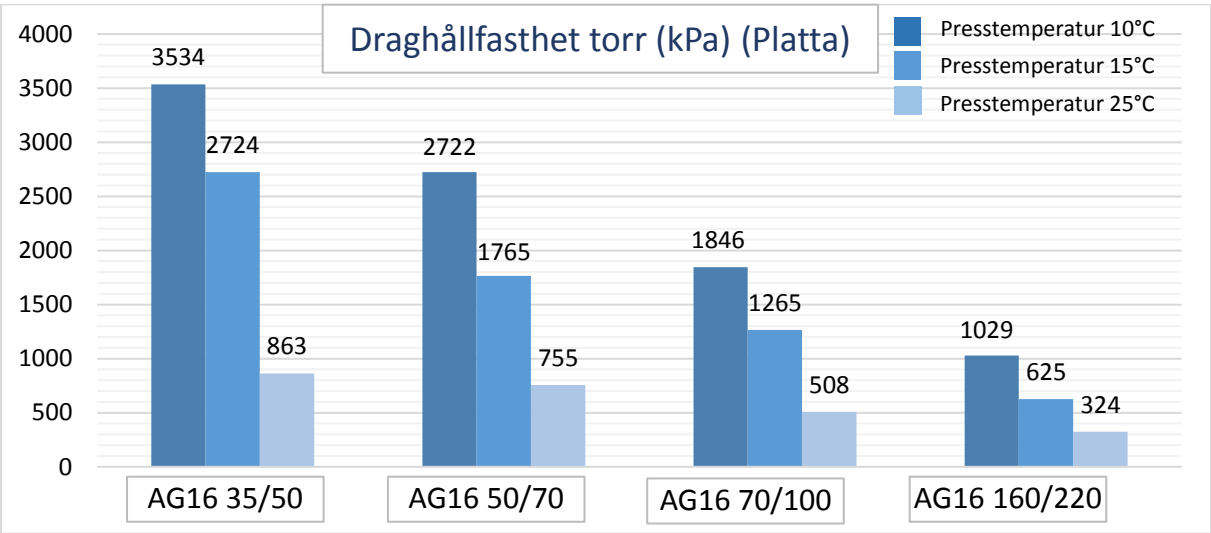
Figur 14: Draghållfasthet utryckt i kPa för Marshallprover (våt grupp).



Figur 15: Draghållfasthet utryckt i kPa för prover borrade ur från platta (våt grupp).



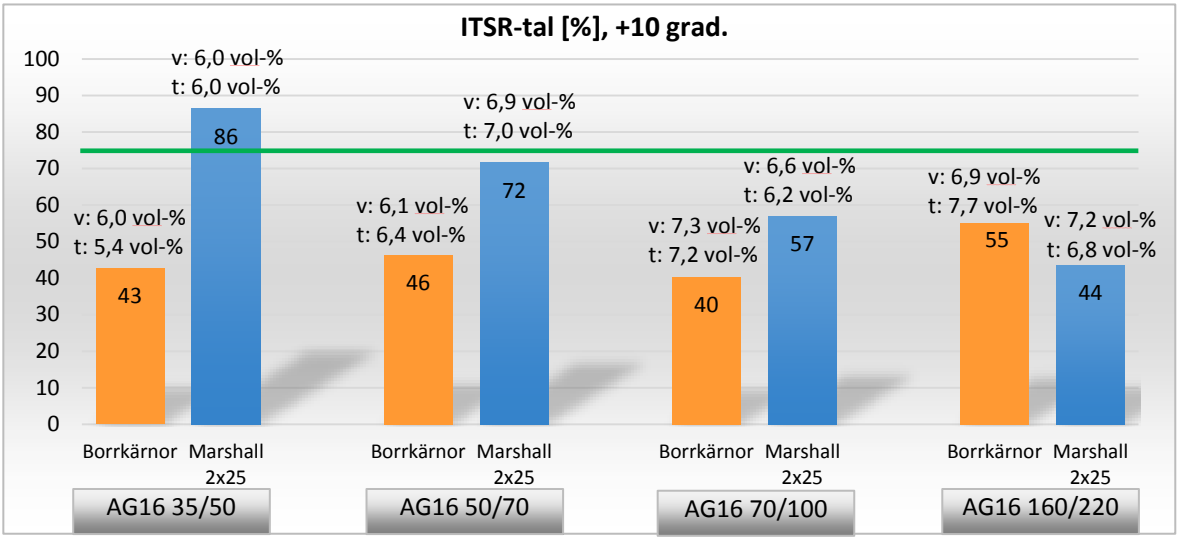
Figur 16: Draghållfasthet utryckt i kPa för Marshallprover (torr grupp).



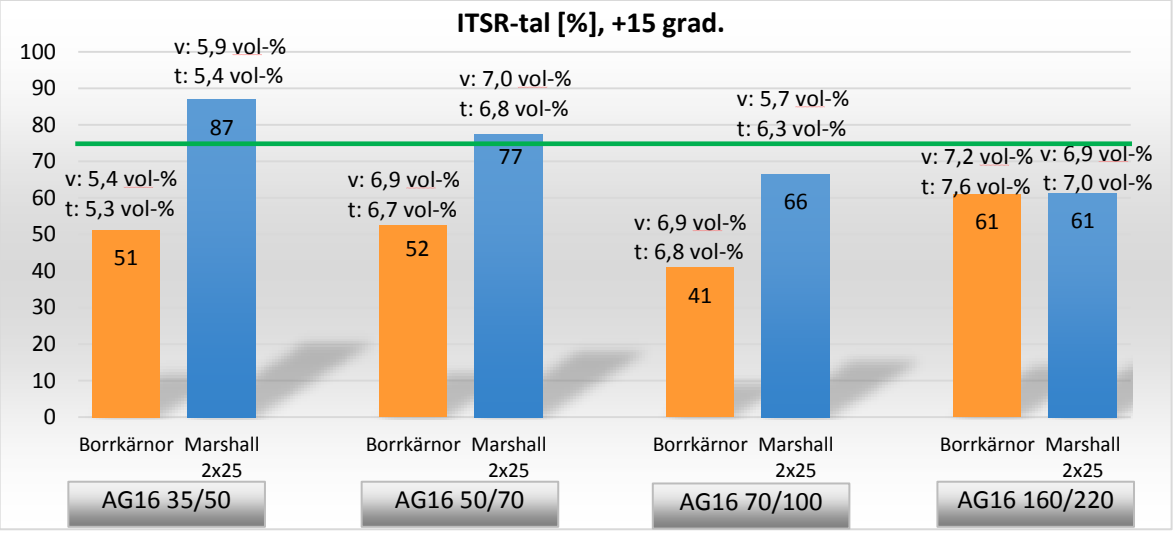
Figur 17: Draghållfasthet utryckt i kPa för prover borrade ur från platta (torr grupp).

Kommentarer:

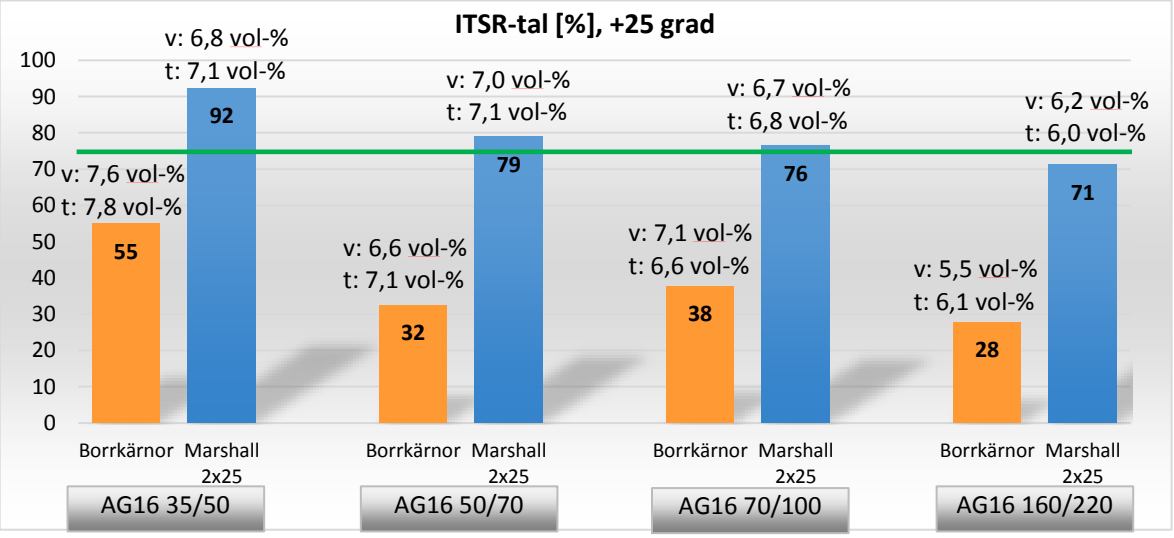
Mycket bra korrelationer i draghållfasthet och olika bitumenhårdheter. Spridning i resultaten på brottlast var betydlig större bland borrkärnor än Marshallprovkroppar, men draghållfasthet ligger ändå inom 17% från medelvärde, se även bilaga 1. Packningsenergin på den större ytan vid tillverkning av platta varierar förmodligen mer än vid kontrollerad stampning av en liten Marshallprovkropp.



Figur 18: ITSR-tal utryckt i %, jämförelse mellan Marshallprover och borrkärnor testad i +10°C på olika bitumensorter (AG16 massa).



Figur 19: ITSR-tal utryckt i %, jämförelse mellan Marshallprover och borrkärnor testad i +15°C på olika bitumensorter (AG16 massa).



Figur 20: ITSR-tal utryckt i %, jämförelse mellan Marshallprover och borrkärnor testad i +25°C på olika bitumensorter (AG16 massa).

5.2 ETAPP II

I etapp II har sammanlagt 12 st. ITSR-analyser utförts med 2 olika bitumensorter, 35/50 och 160/220. Tempererings-/provningstemperatur bestämdes till 15°C (typprovning). Samtliga värden presenterade i sammanställning nedan (Tabell 7). Ett av målen med etapp II var att undersöka om kapning av båda ändytor till en tjocklek lika med borrkärnor (40 mm) på Marshallprovkroppar ger liknande resultat som med Marshallprovkroppar utan kapning. Det skulle också ge ett svar på om kapning av Marshallprovkroppar kan ge jämförande resultat som för borrkärnor.

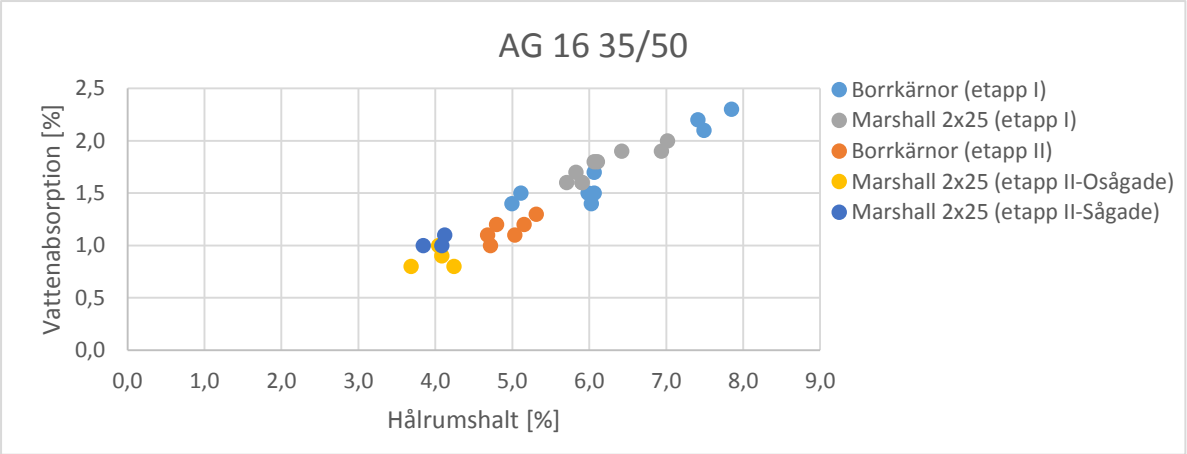
För att se effekten av vidhäftning utfördes också tester med cement som vidhäftningsmedel för de tre olika förfarandena.

Tabell 7: Sammanställning av resultaten för ETAPP II.

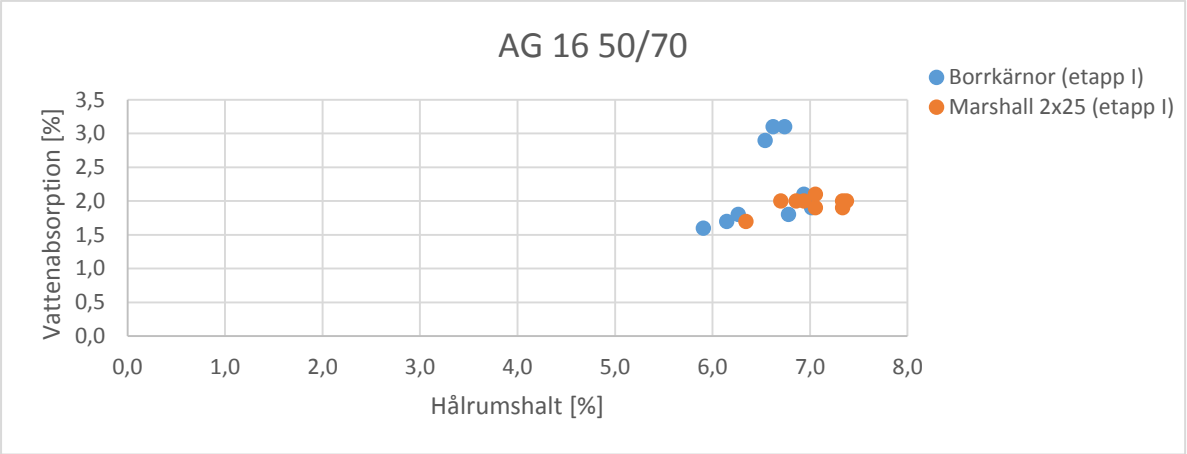
Packnings metod	Bitumen sort	Cement (ja/nej)	Tempererings temp. (°C)	Skrymdensitet (g/cm3)		Hålrumshalt (%)		Brottlast (N)		Draghållfasthet (kPa)		ITSR (%)
				Torr	Våt	Torr	Våt	Torr	Våt	ITS torr	ITS våt	
Marshall 2x25 (sågade ytor)	160/220	nej	15	2,435	2,427	3,4	3,8	7999	7086	1295	1145	**88**
	160/220	ja	15	2,425	2,431	3,9	3,6	7484	7689	1214	1246	**103**
	35/50	nej	15	2,429	2,421	3,7	4,0	21717	18853	3512	3041	**87**
Marshall 2x25 (osågade ytor)	160/220	nej	15	2,418	2,427	4,1	3,8	13018	11538	1297	1159	**89**
	160/220	ja	15	2,431	2,438	3,6	3,3	11785	11820	1180	1188	**101**
	35/50	nej	15	2,411	2,421	4,4	4,0	36939	31014	3673	3098	**84**
Borrkärnor (sågad yta) (försök 1)	160/220	nej	15	2,421	2,395	4,0	5,0	5139	1522	808	238	**29**
	160/220	ja	15	2,427	2,413	3,8	4,3	4991	5247	781	816	**104**
	35/50	nej	15	2,403	2,398	4,7	4,9	16150	8713	2540	1359	**53**
Borrkärnor (sågad yta) (försök 2)	160/220	nej	15	2,409	2,407	4,5	4,5	5459	1753	852	274	**32**
	160/220	ja	15	2,425	2,428	3,8	3,7	5519	5614	865	890	**103**
	35/50	nej	15	2,405	2,397	4,7	5,0	16374	9335	2573	1446	**56**

Kommentarer:

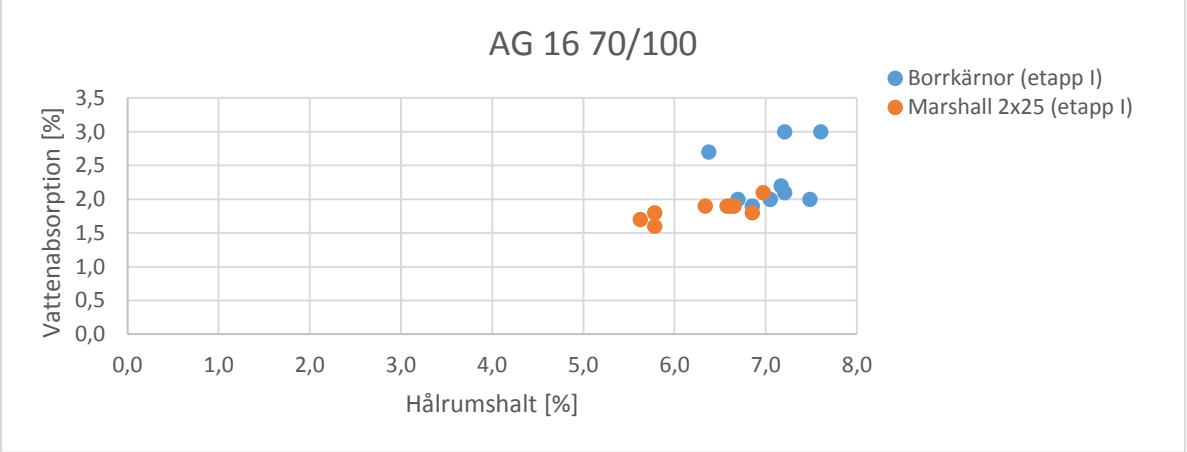
Även i etapp II uppfyller alla ITS resultat noggrannhetskrav (enligt SS-EN12697-23) på 17% från medelvärde (inom sin grupp), alla enskilda resultat redovisas i bilaga 1. Medelvärde på hålrumshalt hos borrkärnor ligger på 4,4 vol-% och hos Marshallprovkroppar ligger på 3,8 vol-%. I etapp I var hålrumshalten runt 6 vol-% så i denna etapp var hålrumshalterna ca 2 vol-% lägre. Detta påverkar vattenupptagning och svällning efter vattenmättnings och konditionerings etapp. Skillnader i vattenupptagning beroende på hålrumshalt visas på figur 21-24. Figurer visar ganska bra korrelation i massan med hårdare bitumensorter dvs. 35/50, 50/70, 70/100 (ju högre hålrumshalt desto högre vattenabsorption). AG16 160/220 visar likadan trend fast med lite större utspridning. Emellertid det visade sig att skillnader i hålrumshalt (upp till 1,8% inom grupper) ger liknande resultat i brottlast.



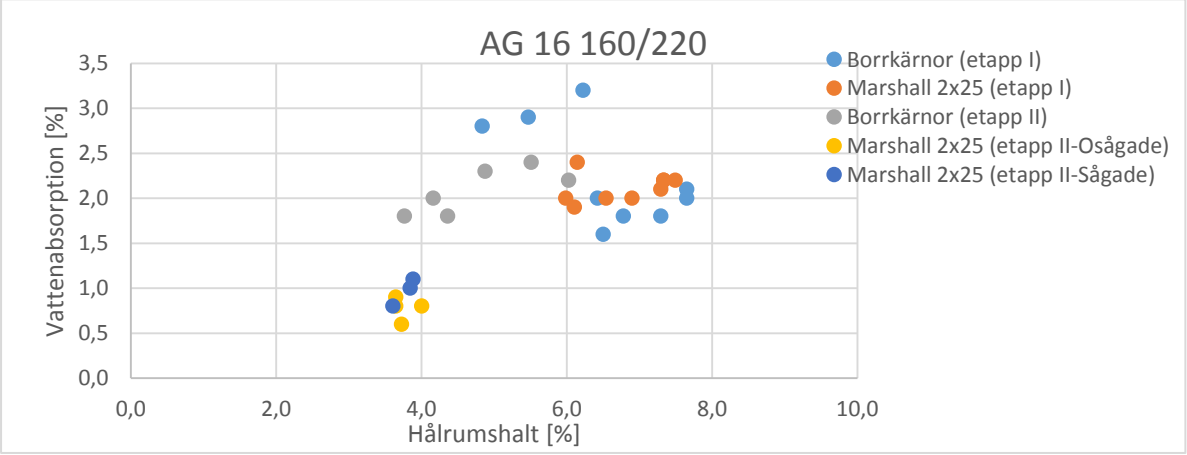
Figur 21: Vattenabsorption beroende på hålrumshalt i AG16 35/50 (etapp I och II).



Figur 22: Vattenabsorption beroende på hålrumshalt i AG16 50/70 (etapp I).



Figur 23: Vattenabsorption beroende på hålrumshalt i AG16 70/100 (etapp I).

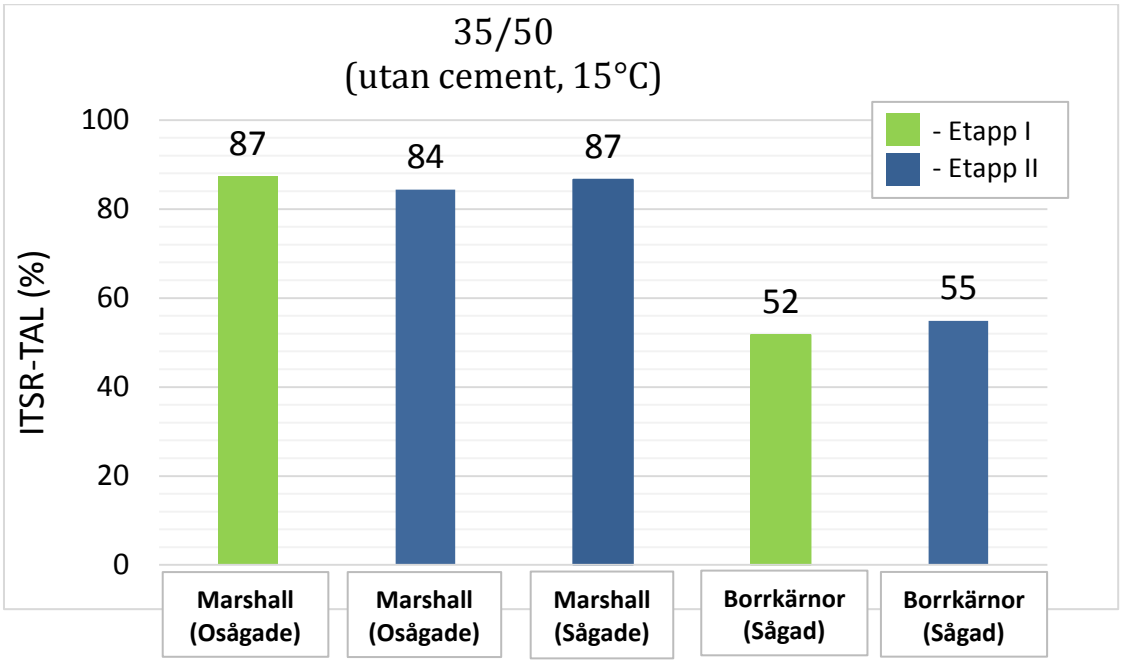


Figur 24: Vattenabsorption beroende på hålrumshalt i AG16 160/220 (etapp I och II).

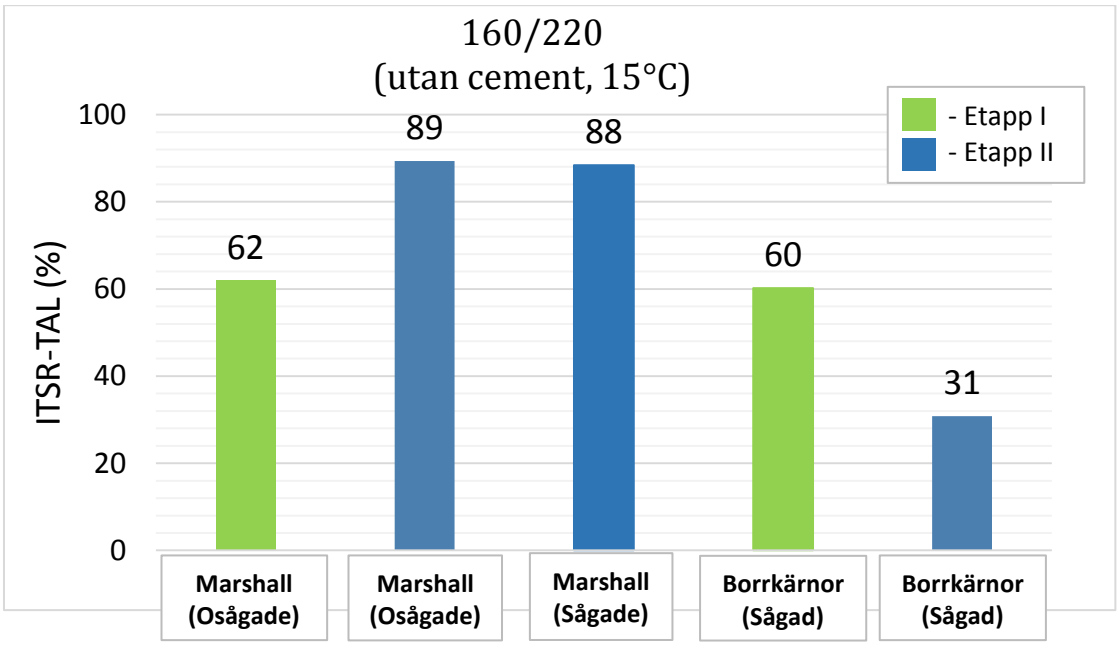
För Marshallprovkroppar kunde ingen signifikant skillnad erhållas mellan osågade och sågade ytor.

Mycket stor skillnad i ITSR-tal mellan Marshallprovkroppar och borrkärnor utan vidhäftningsmedel. Resultaten från båda etapperna stämmer väldig bra i massan med hårt bitumen (35/50) men skiljer sig i försök med mjukt bitumen (160/220). I detta fall visade sig att borrkärnor från etapp II svällde betydligt mer efter vattenkonditionering jämfört med prover från etapp I (ca: 2,6 vol-% jämfört med 0,1 vol-%). Genom detta har provkropparna i den våta gruppen försvagats mer vilket ger det låga ITSR-värdet, se figur 26 – borrkärnor.

Resultaten visas i grafisk form på Figur 25 och 26.

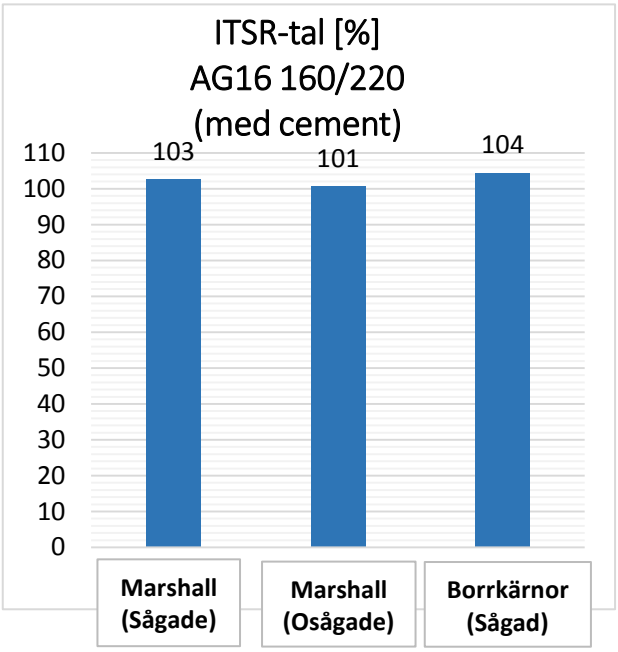


Figur 25: ITSR-tal utryckt i %, jämförelse mellan Marshallprover (sågade och osågade) och borrkärnor (sågad bottenyta) testad i 15°C, utan något tillsatsmedel, resultaten för AG16 35/50, från etapp I och II.



Figur 26: ITSR-tal utryckt i %, jämförelse mellan Marshallprover (sågade och osågade) och borrkärnor (sågad bottenyta) testad i 15°C, utan något tillsatsmedel, resultaten för AG16 160/220, från etapp I och II.

Alla provkroppar tillverkade med vidhäftningsmedel ger goda och likvärdiga resultat (Figur 27).



Figur 27: ITSR-tal utryckt i %, jämförelse mellan Marshallprover (sågade och osågade) och borrkärnor (sågad bottenyta) testad i 15°C, med cement som tillsatsmedel.

6. Slutsatser

Resultaten från de båda etapperna visar att framtagandet av provkroppar har mycket stor betydelse på ITSR-talet. En av anledningarna till detta kan vara hur stor packningsenergin som provkropparna får av aktuell packningsmetod. Ute på vägen samt vid packning av platta på laboratorium med slätvalsvält så är packningsenergin relativt liten och där laddningarna/krafterna från det vattenkänsliga stenmaterialet motverkar att bitumendropparna tränger in i stenmaterialets mikrostruktur och samtidigt klär allt finmaterial. När ett vidhäftningsmedel tar bort de motverkande laddningarna samt krafterna från stenmaterialet kan bindemedlet lättare täcka alla ytor och ett bra ITSR-tal erhålls.

Vid Marshallpackning utsätts provkropparna för en hög packningsenergi som troligen gör att bindemedlet kan tränga in i stenmaterialets mikrostruktur varpå goda resultat på ITSR kan erhållas även med ett vattenkänsligt stenmaterial.

Konditionerings- och tempereringstemperaturen har ingen större betydelse vid provning av borrkärnor. Däremot verkar det som om temperaturen har viss betydelse vid provning av Marshallprovkroppar där temperaturen 10°C ger ett lägre värde än 25°C.

Vid analys av Marshallprovkroppar syns en tydlig trend att hårdare bindemedel ger ett bättre ITSR-tal än ett mjukare bindemedel.

Ingen skillnad på ITSR-talet kunde visas mellan sågade och osågade Marshallprovkroppar.

7. Bilagor

a) Tabell med beräkningar av noggrannhetskrav för etapp I (enligt SS-EN12697-23).

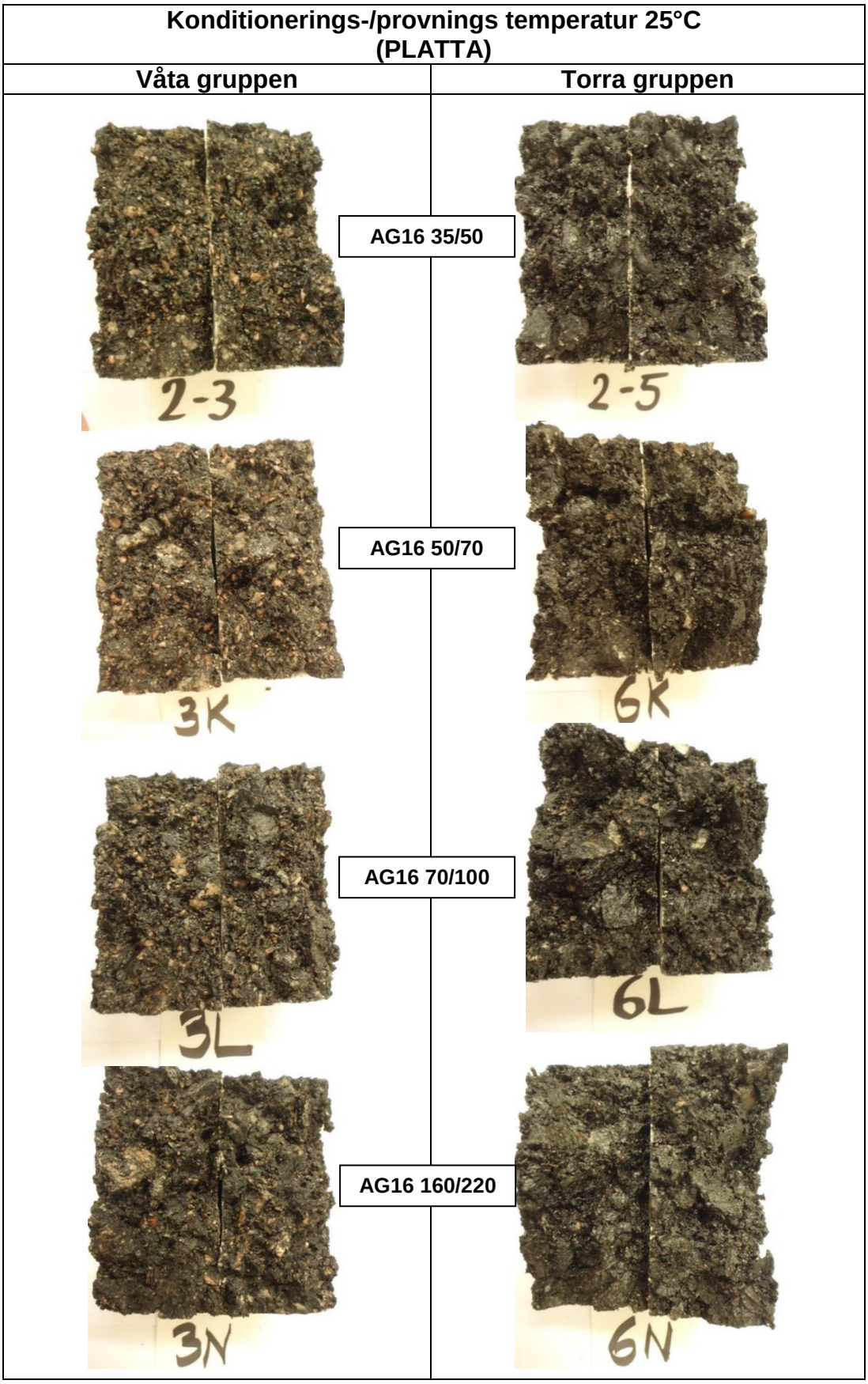
			VÅTA GRUPPEN					TORRA GRUPPEN				
Bitumen	**Packnings-metod**	**Tempererings-temp.**	**Prov**	**Draghåll-fasthet**	**Medel**	**Medel -17%**	**Medel +17%**	**Prov**	**Draghåll-fasthet**	**Medel**	**Medel -17%**	**Medel +17%**
35/50	Borrkärnor	10	1	1675	1522	1263	1780	4	3446	3534	2933	4135
			2	1491				5	3742			
			3	1399				6	3414			
		15	1	1521	1408	1168	1647	4	2687	2724	2261	3187
			2	1392				5	2796			
			3	1310				6	2689			
		25	1	386	467	386	550	4	811	863	716	1009
			2	465				5	873			
			3	550				6	904			
	Marshall 2x25	10	1	2897	2806	2329	3283	4	3284	3251	2698	3803
			2	2642				5	3079			
			3	2880				6	3389			
		15	1	2455	2610	2166	3053	4	3061	2990	2482	3498
			2	2701				5	2955			
			3	2673				6	2954			
		25	1	1560	1554	1290	1818	4	1689	1682	1396	1968
			2	1550				5	1662			
			3	1551				6	1696			
50/70	Borrkärnor	10	1	1283	1282	1064	1500	4	2509	2722	2260	3185
			2	1280				5	2796			
			3	1283				6	2862			
		15	1	909	924	767	1081	4	1795	1765	1465	2065
			2	954				5	1780			
			3	908				6	1720			
		25	1	212	250	208	293	4	738	755	627	884
			2	275				5	745			
			3	264				6	783			
	Marshall 2x25	10	1	2422	2210	1834	2585	4	3081	3089	2564	3614
			2	2191				5	3204			
			3	2016				6	2981			
		15	1	1946	1938	1609	2268	4	2531	2516	2088	2944
			2	1807				5	2488			
			3	2062				6	2529			
		25	1	1017	950	788	1111	4	1145	1193	990	1396
			2	961				5	1213			
			3	871				6	1222			
70/100	Borrkärnor	10	1	687	741	615	867	4	1812	1846	1532	2160
			2	795				5	1805			
			3	740				6	1922			
		15	1	520	514	427	602	4	1341	1265	1050	1480
			2	501				5	1275			
			3	522				6	1180			
		25	1	194	191	159	224	4	538	508	421	594
			2	187				5	476			
			3	193				6	509			
	Marshall 2x25	10	1	1465	1594	1323	1868	4	2667	2794	2319	3269
			2	1868				5	2803			
			3	1448				6	2911			
		15	1	1510	1365	1133	1597	4	2051	2050	1701	2398
			2	1224				5	2091			
			3	1360				6	2007			

		25	1 2 3	658 615 795	689	572	807	4 5 6	905 874 917	899	746	1051
160/220	Borrkärnor	10	1 2 3	581 603 529	571	474	668	4 5 6	992 1096 999	1029	854	1204
		15	1 2 3	366 407 355	376	312	440	4 5 6	635 566 673	625	518	731
		25	1 2 3	95 89 86	90	75	105	4 5 6	304 341 327	324	269	379
	Marshall 2x25	10	1 2 3	782 771 747	767	636	897	4 5 6	1729 1870 1709	1769	1469	2070
		15	1 2 3	682 675 680	679	564	794	4 5 6	1071 1192 1026	1096	910	1283
		25	1 2 3	366 358 364	363	301	424	4 5 6	524 526 480	510	423	597

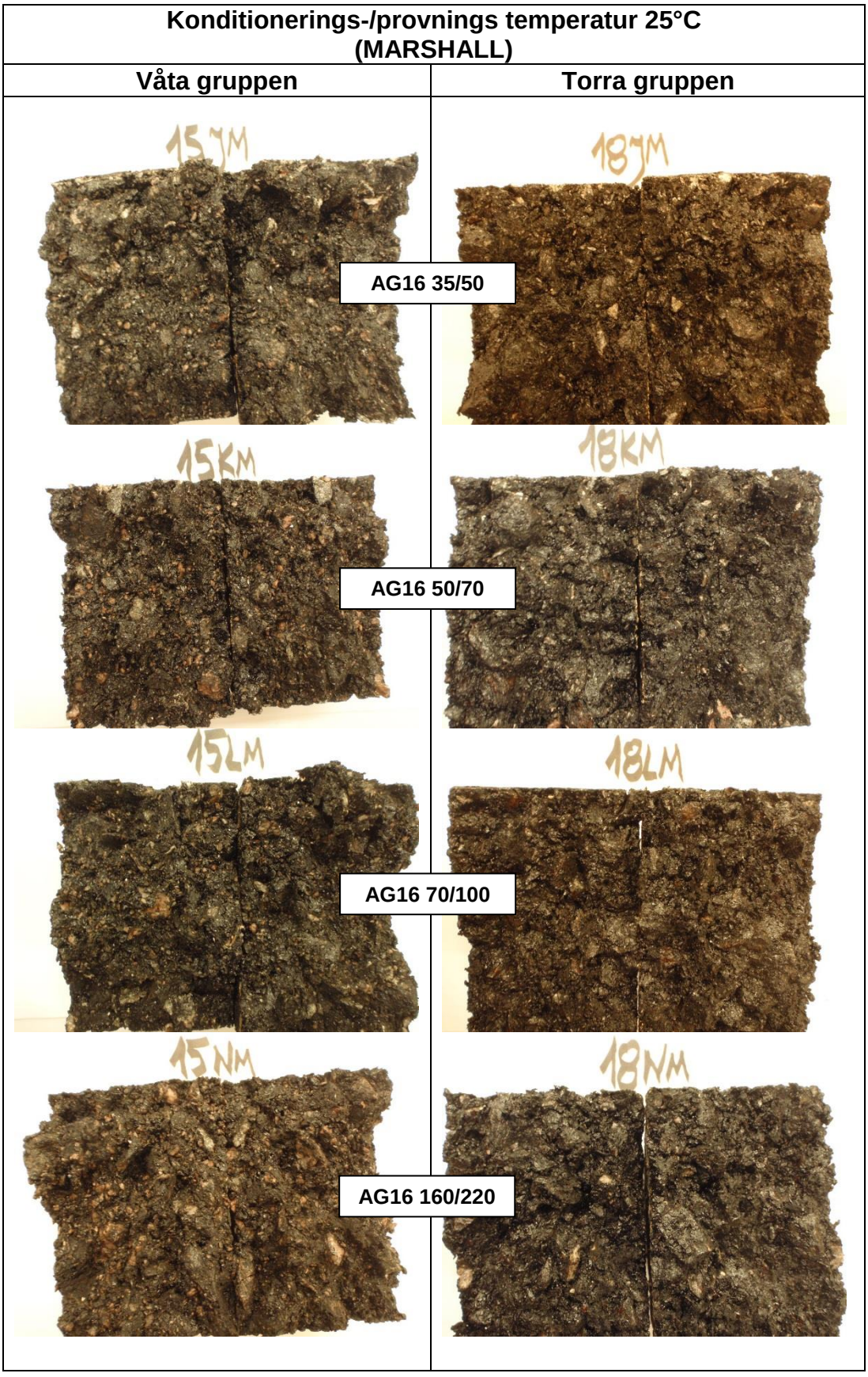
b) Tabell med beräkningar av noggrannhetskrav för etapp II (enligt SS-EN12697-23).

			VÅTA GRUPPEN					TORRA GRUPPEN				
Bitumen	**Packnings-metod**	**Tempererings-temp.**	**Prov**	**Draghåll-fasthet**	**Medel**	**Medel -17%**	**Medel +17%**	**Prov**	**Draghåll-fasthet**	**Medel**	**Medel -17%**	**Medel +17%**
160/220 (utan cem.)	**Marshall 2x25 (sågade ytor)**	15	1	1151	1145	950	1340	4	1353	1295	1075	1515
			2	1174				5	1246			
			3	1110				6	1286			
160/220 (med cem.)		15	1	1210	1246	1034	1458	4	1161	1214	1007	1420
			2	1245				5	1244			
			3	1283				6	1236			
35/50 (utan cem.)		15	1	3005	3041	2524	3558	4	3422	3512	2915	4109
			2	3121				5	3581			
			3	2998				6	3533			
160/220 (utan cem.)	**Marshall 2x25 (osågade ytor)**	15	1	1127	1159	962	1356	5	1283	1297	1076	1517
			2	1138				6	1274			
			3	1207				7	1373			
			4	1163				8	1257			
160/220 (med cem.)		15	1	1162	1188	986	1389	5	1190	1180	979	1380
			2	1199				6	1181			
			3	1224				7	1177			
			4	1165				8	1170			
35/50 (utan cem.)		15	1	3117	3098	2572	3625	5	3455	3673	3049	4297
			2	2996				6	3711			
			3	3142				7	3725			
			4	3138				8	3801			
160/220 (utan cem.)	**Borrkärnor (sågad yta)**	15	1	198	238	198	278	4	835	808	670	945
			2	245				5	741			
			3	271				6	847			
160/220 (med cem.)		15	1	875	816	677	955	4	793	781	648	914
			2	834				5	784			
			3	739				6	766			
35/50 (utan cem.)		15	1	1486	1359	1128	1590	4	2531	2540	2108	2972
			2	1284				5	2601			
			3	1306				6	2488			
160/220 (utan cem.)	**Borrkärnor (sågad yta)**	15	1	235	274	228	321	4	876	852	707	996
			2	296				5	820			
			3	292				6	859			
160/220 (med cem.)		15	1	892	890	739	1042	4	817	865	718	1012
			2	885				5	906			
			3	894				6	873			
35/50 (utan cem.)		15	1	1329	1446	1200	1692	4	2580	2573	2136	3010
			2	1466				5	2586			
			3	1543				6	2553			

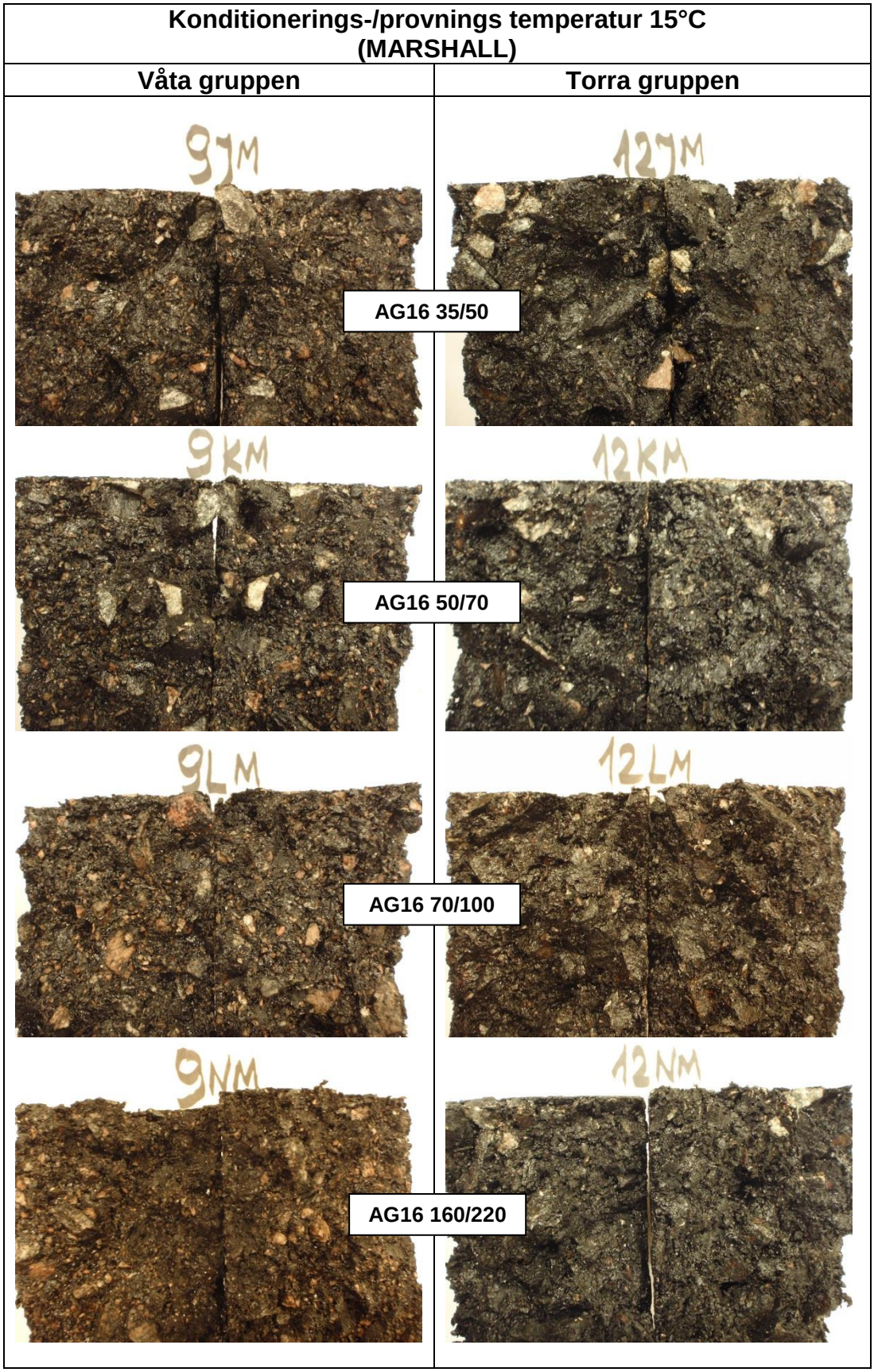
c) Bilder på brutna provkroppar efter vattenkänslighets test (borrade ur från platta, testade i 25°C, testad massa – AG16 med fyra olika bitumensorter).



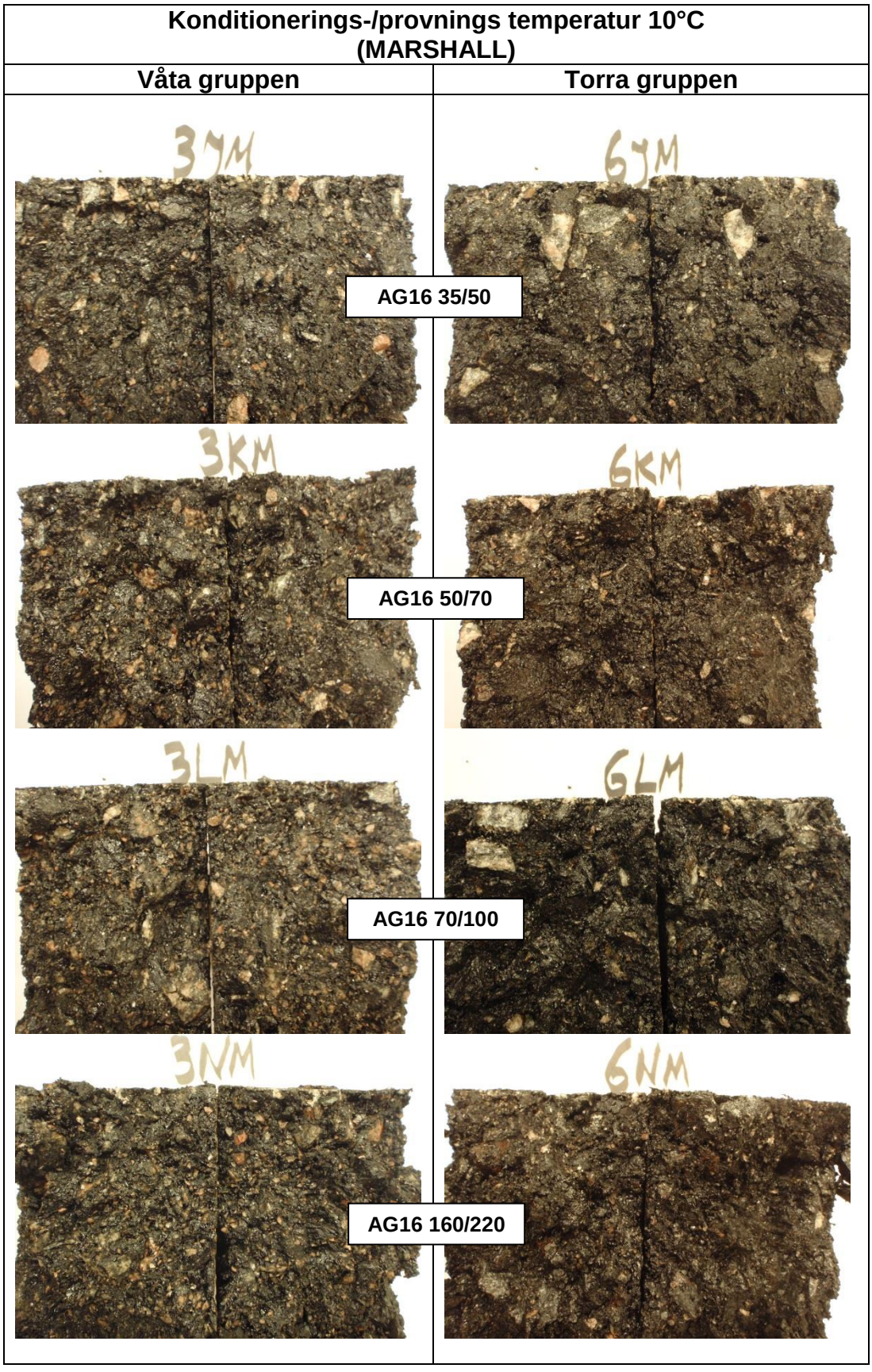
d) Bilder på brutna provkroppar efter vattenkänslighets test (Marshallprovkroppar, testade i 25°C, testad massa – AG16 med fyra olika bitumensorter).



e) Bilder på brutna provkroppar efter vattenkänslighets test (Marshallprovkroppar, testade i 15°C, testad massa – AG16 med fyra olika bitumensorter).



f) Bilder på brutna provkroppar efter vattenkänslighets test (Marshallprovkroppar, testade i 10°C, testad massa – AG16 med fyra olika bitumensorter).



g) Sammanställning av alla resultaten för etapp I.

			VÅTA PROVER									TORRA PROVER						BROTTLAST		HÅLRUMSHALT			
Bit-n sort	Packnings metod	Temp (°C)	Nr	Våta skrym (g/cm³)	Våta skrym mdv (g/cm³)	Våta - svällning efter vattenmättning (vol-%)	Våta - svällning efter konditionering (vol-%)	Vatten abs-n (vikt-%)	Vatten abs-n mdv (%)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	Nr	Torra skrym (g/cm³)	Torra skrym mdv (g/cm³)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	ITSR-tal (%)	Våta (N)	Torra (N)	Hålrum våta (%)	Hålrum våta mdv (%)	Hålrum torra (%)	Hålrum torra mdv (%)
35/50	Borrkärnor	10	1	2,371	2,370	-1,4	-1,3	1,5	1,5	1675	1522	4	2,380	2,387	3446	3534	43	10853	21705	6,0	6,0	5,6	5,4
			2	2,370		0,0	0,4	1,4		1491		5	2,390		3742			9430	24757	6,0		5,2	
			3	2,369		1,0	1,6	1,5		1399		6	2,391		3414			8890	21860	6,1		5,2	
		15	1	2,393	2,386	0,5	1,1	1,5	1,5	1521	1408	4	2,380	2,388	2687	2724	52	9807	17483	5,1	5,4	5,6	5,3
			2	2,396		0,0	0,4	1,4		1392		5	2,388		2796			9195	18824	5,0		5,3	
			3	2,369		0,4	0,8	1,7		1310		6	2,397		2689			8417	17242	6,1		5,0	
		25	1	2,333	2,331	0,0	0,8	2,1	2,2	386	467	4	2,310	2,324	811	863	54	2508	5224	7,5	7,6	8,4	7,8
			2	2,324		0,0	1,0	2,3		465		5	2,324		873			3009	5616	7,9		7,9	
			3	2,335		0,0	1,0	2,2		550		6	2,339		904			3627	5813	7,4		7,3	
	Marshall 2x25	10	1	2,373	2,371	-0,2	0,0	1,6	1,7	2897	2806	4	2,365	2,371	3284	3251	86	29962	33912	5,9	6,0	6,2	6,0
			2	2,373		0,0	0,3	1,6		2642		5	2,375		3079			27220	31869	5,9		5,8	
			3	2,368		-0,2	0,2	1,8		2880		6	2,372		3389			29740	34863	6,1		5,9	
		15	1	2,375	2,374	0,0	0,2	1,7	1,7	2455	2610	4	2,390	2,387	3061	2990	87	25668	31786	5,8	5,9	5,2	5,4
			2	2,378		0,0	0,2	1,6		2701		5	2,362		2955			27804	30635	5,7		6,3	
			3	2,369		0,2	-0,6	1,8		2673		6	2,408		2954			27725	31020	6,1		4,5	
		25	1	2,347	2,351	0,2	0,4	1,9	1,9	1560	1554	4	2,342	2,342	1689	1682	92	16211	17617	6,9	6,8	7,1	7,1
			2	2,345		0,2	0,2	2,0		1550		5	2,340		1662			16128	17314	7,0		7,2	
			3	2,360		0,4	0,4	1,9		1551		6	2,344		1696			16109	17606	6,4		7,1	

			VÅTA PROVER									TORRA PROVER						BROTTLAST		HÅLRUMSHALT			
Bit-n sort	Packnings metod	Temp (°C)	Nr	Våta skrym (g/cm³)	Våta skrym mdv (g/cm³)	Våta - svällning efter vattenmättning (vol-%)	Våta - svällning efter konditionering (vol-%)	Vatten abs-n (vikt-%)	Vatten abs-n mdv (%)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	Nr	Torra skrym (g/cm³)	Torra skrym mdv (g/cm³)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	ITSR-tal (%)	Våta (N)	Torra (N)	Hålrum våta (%)	Hålrum våta mdv (%)	Hålrum torra (%)	Hålrum torra mdv (%)
50/70	Borrkärnor	10	1	2,364	2,368	-0,3	0,9	1,8	1,7	1283	1282	4	2,337	2,359	2509	2722	47	7933	15752	6,3	6,1	7,3	6,4
			2	2,373		0,2	-0,1	1,6		1280		5	2,382		2796			7888	17812	5,9		5,6	
			3	2,367		0,0	0,3	1,7		1283		6	2,359		2862			8095	18082	6,1		6,5	
		15	1	2,347	2,348	0,4	0,6	2,1	1,9	909	924	4	2,353	2,352	1795	1765	52	5817	11532	6,9	6,9	6,7	6,7
			2	2,345		0,4	0,4	1,9		954		5	2,357		1780			6062	11315	7,0		6,5	
			3	2,351		0,0	0,4	1,8		908		6	2,346		1720			5909	11063	6,8		7,0	
		25	1	2,352	2,355	-0,2	1,9	3,1	3,0	212	250	4	2,345	2,343	738	755	33	1318	4841	6,7	6,6	7,0	7,1
			2	2,355		-0,2	1,9	3,1		275		5	2,358		745			1740	4775	6,6		6,5	
			3	2,357		0,0	**2,50**	2,9		264		6	2,326		783			1655	4888	6,5		7,8	
	Marshall 2x25	10	1	2,336	2,347	0,0	-0,2	2,0	1,9	2422	2210	4	2,339	2,344	3081	3089	72	25306	32188	7,4	6,9	7,3	7,0
			2	2,344		0,2	0,2	1,9		2191		5	2,355		3204			22901	33284	7,1		6,6	
			3	2,362		0,2	0,0	1,7		2016		6	2,339		2981			20993	31254	6,3		7,3	
		15	1	2,344	2,345	0,0	-0,1	2,1	2,0	1946	1938	4	2,347	2,349	2531	2516	77	20393	26281	7,1	7,0	6,9	6,8
			2	2,337		0,0	-0,2	2,0		1807		5	2,358		2488			18995	25836	7,3		6,5	
			3	2,353		0,6	0,4	2,0		2062		6	2,343		2529			21345	26507	6,7		7,1	
		25	1	2,337	2,344	-0,2	-0,3	1,9	2,0	1017	950	4	2,331	2,344	1145	1193	80	10589	12105	7,3	7,0	7,6	7,1
			2	2,347		0,2	0,4	2,0		961		5	2,364		1213			9934	12620	6,9		6,3	
			3	2,349		0,3	0,5	2,0		871		6	2,336		1222			9132	12829	6,9		7,4	

			VÅTA PROVER									TORRA PROVER						BROTTLAST		HÅLRUMSHALT			
Bit-n sort	Packnings metod	Temp (°C)	Nr	Våta skrym (g/cm³)	Våta skrym mdv (g/cm³)	Våta - svällning efter vattenmättning (vol-%)	Våta - svällning efter konditionering (vol-%)	Vatten abs-n (vikt-%)	Vatten abs-n mdv (%)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	Nr	Torra skrym (g/cm³)	Torra skrym mdv (g/cm³)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	ITSR-tal (%)	Våta (N)	Torra (N)	Hålrum våta (%)	Hålrum våta mdv (%)	Hålrum torra (%)	Hålrum torra mdv (%)
70/100	Borrkärnor	10	1	2,335	2,341	0,0	-0,5	2,0	2,0	687	741	4	2,347	2,343	1812	1846	40	4320	11458	7,5	7,3	7,0	7,2
			2	2,346		0,0	0,9	2,0		795		5	2,348		1805			5115	11542	7,1		7,0	
			3	2,342		0,4	0,6	2,1		740		6	2,335		1922			4773	12235	7,2		7,5	
		15	1	2,355	2,350	0,0	0,6	2,0	2,0	520	514	4	2,345	2,353	1341	1265	41	3367	8399	6,7	6,9	7,1	6,8
			2	2,351		0,0	0,4	1,9		501		5	2,351		1275			3208	8258	6,9		6,9	
			3	2,343		0,4	0,4	2,2		522		6	2,364		1180			3345	7584	7,2		6,3	
		25	1	2,342	2,346	0,2	1,5	3,0	2,9	194	191	4	2,357	2,356	538	508	38	1241	3475	7,2	7,1	6,6	6,6
			2	2,363		0,0	1,1	2,7		187		5	2,356		476			1217	3107	6,4		6,7	
			3	2,332		0,0	1,2	3,0		193		6	2,356		509			1252	3278	7,6		6,7	
	Marshall 2x25	10	1	2,357	2,357	0,3	0,6	1,9	1,9	1465	1594	4	2,370	2,366	2667	2794	57	15286	27869	6,6	6,6	6,1	6,2
			2	2,351		0,0	0,0	1,8		1868		5	2,361		2803			19262	28849	6,9		6,5	
			3	2,364		0,0	0,7	1,9		1448		6	2,368		2911			14864	29952	6,3		6,2	
		15	1	2,378	2,379	0,2	0,4	1,6	1,7	1510	1365	4	2,363	2,365	2051	2050	67	15547	21143	5,8	5,7	6,4	6,3
			2	2,378		0,0	0,2	1,8		1224		5	2,365		2091			12549	21460	5,8		6,3	
			3	2,382		-0,2	0,2	1,7		1360		6	2,366		2007			13881	20614	5,6		6,3	
		25	1	2,358	2,354	-0,2	0,0	1,9	2,0	658	689	4	2,355	2,351	905	899	77	6785	9400	6,6	6,7	6,7	6,8
			2	2,348		0,0	0,0	2,1		615		5	2,350		874			6449	9100	7,0		6,9	
			3	2,356		0,0	0,2	1,9		795		6	2,349		917			8220	9571	6,7		6,9	

			VÅTA PROVER									TORRA PROVER						BROTTLAST		HÅLRUMSHALT			
Bit-n sort	Packnings metod	Temp (°C)	Nr	Våta skrym (g/cm^3)	Våta skrym mdv (g/cm^3)	Våta - svällning efter vattenmättning (vol-%)	Våta - svällning efter konditionering (vol-%)	Vatten abs-n (vikt-%)	Vatten abs-n mdv (%)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	Nr	Torra skrym (g/cm^3)	Torra skrym mdv (g/cm^3)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	ITSR-tal (%)	Våta (N)	Torra (N)	Hålrum våta (%)	Hålrum våta mdv (%)	Hålrum torra (%)	Hålrum torra mdv (%)
160/220	Borrkärnor	10	1	2,338	2,349	0,0	0,2	1,8	1,7	581	571	4	2,322	2,327	992	1029	55	3700	6308	7,3	6,9	7,9	7,7
			2	2,351		0,6	-0,7	1,8		603		5	2,330		1096			3850	7007	6,8		7,6	
			3	2,358		-0,1	-0,2	1,6		529		6	2,330		999			3296	6352	6,5		7,6	
		15	1	2,329	2,339	-0,4	-0,1	2,1	2,0	366	376	4	2,322	2,331	635	625	60	2372	4076	7,7	7,2	7,9	7,6
			2	2,329		-0,3	-0,5	2,0		407		5	2,345		566			2612	3650	7,7		7,0	
			3	2,360		0,2	0,8	2,0		355		6	2,327		673			2252	4130	6,4		7,7	
		25	1	2,384	2,383	-0,3	1,6	2,9	3,0	95,3	90	4	2,375	2,369	304	324	28	607	1901	5,5	5,5	5,8	6,1
			2	2,365		0,4	**2,10**	3,2		88,9		5	2,366		341			570	2220	6,2		6,2	
			3	2,400		0,6	**2,00**	2,8		85,8		6	2,367		327			554	2112	4,8		6,1	
	Marshall 2x25	10	1	2,333	2,339	0,0	0,2	2,2	2,1	782	767	4	2,356	2,351	1729	1769	43	8179	17913	7,5	7,2	6,6	6,8
			2	2,337		0,0	-0,2	2,2		771		5	2,346		1870			7981	19451	7,3		7,0	
			3	2,348		0,0	0,0	2,0		747		6	2,351		1709			7807	17696	6,9		6,8	
		15	1	2,338	2,348	0,2	0,2	2,1	2,1	682	679	4	2,365	2,346	1071	1096	62	7069	11186	7,3	6,9	6,2	7,0
			2	2,368		-0,2	-0,2	1,9		675		5	2,335		1192			7007	12507	6,1		7,4	
			3	2,337		0,2	-0,2	2,2		680		6	2,337		1026			7073	10824	7,3		7,3	
		25	1	2,371	2,365	0,0	0,1	2,0	2,1	366	363	4	2,366	2,371	524	510	71	3797	5439	6,0	6,2	6,2	6,0
			2	2,357		0,0	0,4	2,0		358		5	2,382		526			3741	5467	6,5		5,6	
			3	2,367		-0,2	0,6	2,4		364		6	2,364		480			3769	4982	6,1		6,3	

h) Sammanställning av alla resultaten för etapp II.

			VÅTA PROVER									TORRA PROVER						BROTTLAST		HÅLRUMSHALT			
Bit-n sort	Packnings metod	Temp (°C)	Nr	Våta skrym (g/cm^3)	Våta skrym mdv (g/cm^3)	Våta - svällning efter vattenmättning (vol-%)	Våta - svällning efter konditionering (vol-%)	Vatten abs-n (vikt-%)	Vatten abs-n mdv (%)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	Nr	Torra skrym (g/cm^3)	Torra skrym mdv (g/cm^3)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	ITSR-tal (%)	Våta (N)	Torra (N)	Hålrum våta (%)	Hålrum våta mdv (%)	Hålrum torra (%)	Hålrum torra mdv (%)
160/220 (utan cement)	Marshall 2x25 (sågade ytor)	15	1	2,431	2,427	0,2	0,2	0,8	1,0	1151	1145	4	2,449	2,435	1353	1295	88	7122	8351	3,6	3,8	2,9	3,4
			2	2,424		0,5	0,7	1,1		1174		5	2,423		1246			7245	7674	3,9		3,9	
			3	2,425		0,0	0,2	1,0		1110		6	2,433		1286			6890	7973	3,8		3,5	
160/220 (med cement)		15	1	2,424	2,431	0,2	0,3	0,9	1,0	1210	1246	4	2,417	2,425	1161	1214	103	7456	7166	3,9	3,6	4,2	3,9
			2	2,428		0,0	-0,3	1,1		1245		5	2,406		1244			7687	7664	3,7		4,6	
			3	2,440		0,2	0,0	0,9		1283		6	2,451		1236			7924	7621	3,3		2,8	
35/50 (utan cement)		15	1	2,418	2,421	-0,2	0,1	1,1	1,0	3005	3041	4	2,417	2,429	3422	3512	87	18624	21190	4,1	4,0	4,2	3,7
			2	2,419		0,0	0,0	1,0		3121		5	2,439		3581			19397	22116	4,1		3,3	
			3	2,425		0,0	0,0	1,0		2998		6	2,431		3533			18537	21845	3,8		3,6	
160/220 (utan cement)	Marshall 2x25 (osågade ytor)	15	1	2,428	2,427	-0,2	-0,5	0,6	0,8	1127	1159	5	2,422	2,418	1283	1297	89	11155	12867	3,7	3,8	4,0	4,1
			2	2,430		0,2	0,2	0,8		1138		6	2,411		1274			11387	12807	3,6		4,4	
			3	2,430		0,0	0,2	0,9		1207		7	2,421		1373			12016	13794	3,6		4,0	
			4	2,421		-0,2	-0,2	0,8		1163		8	2,416		1257			11592	12603	4,0		4,2	
160/220 (med cement)		15	1	2,429	2,438	0,2	0,0	0,9	0,9	1162	1188	5	2,431	2,431	1190	1180	101	11595	11855	3,7	3,3	3,6	3,6
			2	2,440		0,0	0,0	0,8		1199		6	2,427		1181			11877	11819	3,3		3,8	
			3	2,441		0,2	-0,5	0,8		1224		7	2,431		1177			12165	11762	3,2		3,6	
			4	2,441		0,0	-0,2	0,9		1165		8	2,434		1170			11642	11703	3,2		3,5	
35/50 (utan cement)		15	1	2,419	2,421	0,2	0,4	0,9	0,9	3117	3098	5	2,405	2,411	3455	3673	84	31241	34903	4,1	4,0	4,6	4,4
			2	2,429		0,0	-0,2	0,8		2996		6	2,422		3711			29814	37049	3,7		4,0	
			3	2,420		0,2	-0,2	1,0		3142		7	2,412		3725			31595	37667	4,0		4,4	
			4	2,415		-0,2	-0,2	0,8		3138		8	2,405		3801			31404	38136	4,2		4,6	

			VÅTA PROVER									TORRA PROVER						BROTTLAST		HÅLRUMSHALT			
Bit-n sort	Packnings metod	Temp (°C)	Nr	Våta skrym (g/cm^3)	Våta skrym mdv (g/cm^3)	Våta - svällning efter vattenmättning (vol-%)	Våta - svällning efter konditionering (vol-%)	Vatten abs-n (vikt-%)	Vatten abs-n mdv (%)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	Nr	Torra skrym (g/cm^3)	Torra skrym mdv (g/cm^3)	Drag-hållfasthet (kPa)	Drag-hållfasthet mdv (kPa)	ITSR-tal (%)	Våta (N)	Torra (N)	Hålrum våta (%)	Hålrum våta mdv (%)	Hålrum torra (%)	Hålrum torra mdv (%)
160/220 (utan cement)	Borrkärnor (sågad yta) (försök 1)	15	1	2,370	2,395	0,7	**3,50*	2,2	2,2	198	238	4	2,431	2,421	835	808	29	1265	5373	6,0	5,0	3,6	4,0
			2	2,399		0,2	**2,70*	2,3		245		5	2,411		741			1577	4721	4,9		4,4	
			3	2,417		0,0	**2,40*	2,0		271		6	2,421		847			1723	5322	4,2		4,0	
160/220 (med cement)		15	1	2,427	2,413	0,2	0,4	1,0	1,1	875	816	4	2,430	2,427	793	781	104	5627	5092	3,8	4,3	3,6	3,8
			2	2,406		0,4	0,2	1,1		834		5	2,433		784			5385	4999	4,6		3,5	
			3	2,406		0,2	0,0	1,3		739		6	2,417		766			4730	4883	4,6		4,2	
35/50 (utan cement)		15	1	2,404	2,398	-0,2	0,2	1,1	1,2	1486	1359	4	2,411	2,403	2531	2540	53	9624	15869	4,7	4,9	4,4	4,7
			2	2,401		0,2	0,4	1,2		1284		5	2,393		2601			8163	16782	4,8		5,1	
			3	2,388		0,0	0,2	1,3		1306		6	2,406		2488			8351	15799	5,3		4,6	
160/220 (utan cement)	Borrkärnor (sågad yta) (försök 2)	15	1	2,383	2,407	-0,5	**2,60*	2,4	2,0	235	274	4	2,418	2,409	876	852	32	1507	5591	5,5	4,5	4,1	4,5
			2	2,427		-0,3	**2,30*	1,8		296		5	2,401		820			1895	5278	3,8		4,8	
			3	2,412		-0,2	1,8	1,8		292		6	2,409		859			1858	5507	4,4		4,5	
160/220 (med cement)		15	1	2,435	2,428	-0,5	0,4	0,9	1,0	892	890	4	2,411	2,425	817	865	103	5646	5211	3,4	3,7	4,4	3,8
			2	2,423		-0,1	0,2	0,9		885		5	2,439		906			5565	5842	3,9		3,3	
			3	2,426		0,3	0,0	1,1		894		6	2,426		873			5632	5504	3,8		3,8	
35/50 (utan cement)		15	1	2,392	2,397	0,0	0,9	1,2	1,1	1329	1446	4	2,397	2,405	2580	2573	56	8507	16704	5,2	5,0	5,0	4,7
			2	2,395		-0,2	0,4	1,1		1466		5	2,415		2586			9459	16340	5,0		4,2	
			3	2,403		-0,4	0,4	1,0		1543		6	2,402		2553			10040	16078	4,7		4,8	