

Luft, vatten och saltvattens inverkan på asfalt över tid

En jämförelse av asfalts nedbrytning i olika
lagringsmedium



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

vid Campus Helsingborg
Institutionen för Teknik och samhälle

Examensarbete:
Ted Malmberg
20000724–9311

© Copyright Ted Malmberg

LTH vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

Faculty of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2024

Förord

Detta examensarbete omfattar 22,5 högskolepoäng under utbildningen Högskoleingenjör, byggteknik väg- och trafikteknik och har skrivits via Lunds Tekniska Högskola. Vägkroppen och dess nedbrytning över tid har under min studietid fascinerat mig och detta examensarbete åsyftar att besvara en av mina frågor jag haft under min studietid. Genom detta arbete önskar jag att kunna bidra till vetenskapen kring vägsalt och dess påverkan på slitlager samt till resonemangen kring ifall vägsalt är en rimlig driftmetod vid vinterväglag.

Jag vill främst rikta ett stort tack till mina handledare, Joacim Lundberg vid Lunds universitet som ihärdigt hjälpt mig med detta examensarbete med kontakter, metoder, mjukvaruhjälp, formuleringar och mycket mer samt Sara Janhäll vid forskningsinstitutet RISE (Research Institutes of Sweden) för alla mycket värdefulla synpunkter under arbetets gång. Jag vill också tacka Ebrahim Pharhamifar och Sven Agardh för deras vägledning i tillverkningsprocessen samt utförandet av tester. I samband med detta examensarbete vill jag också poängtera hur värdefull denna typ av utbildning varit för mig och hur den verkligen utvecklat mina kunskaper inom ingenjörskonsten. Jag önskar att utbildningen håller i sig framöver och fortsätter leverera för kommande elever.

Dessutom vill jag tacka min familj och framför allt min fästmo Helena som stöttat mig under både min studietid och under examensarbetet.

Malmö
2024-05-22
Ted Malmberg

Sammanfattning

Denna studie åsyftar att utreda hur saltlösning påverkar vanliga slitlager i kontrast till hur luft samt vatten påverkar slitlager. Slitlagerna representerades av asfalttyperna asfaltbetong, dränerande (ABD11 70/100) vilken är en dränerande beläggning samt asfaltbetong, stenrik (ABS11 70/100) som är en tät beläggning. ABD och ABS användes i experimentet eftersom ABD har en högre hålrums halt än ABS vilket kan betyda att inverkan från yttre substanser kan skilja slitlagertyperna åt.

För att kunna jämföra hur slitlagertyperna påverkas av de olika lagringsmedierna tillverkades totalt 62 asfaltprovkroppar varav 31 av sorten ABD11 70/100 och 31 av sorten ABS11 70/100. En asfaltprovkropp har en cylindrisk form och har dimensionerna $\varnothing 102\text{mm}$ samt standardhöjd på 60-75mm. Av de respektive 30 asfaltprovkropparna testades inledningsvis fyra efter tillverkning som referensvärden och sedan placerades nio i ett slutet luftkärl, nio i ett slutet vattenkärl samt nio i ett slutet saltvattenkärl med en saltkoncentration på 23%. Saltvattenkoncentrationen på 23% bestämdes utifrån saltlösningens eutektiska egenskaper, där salt med denna koncentration teoretiskt kan smälta is ner till -21°C .

Asfaltprovkropparna tillverkades under fyra dagar, där de första ABS-provkropparna tillverkades under två dagar. Sex dygn senare tillverkades ABD-proverna under två dagar. I tillverkningsprocessen användes vedertagna metoder och internationella standarder.

Under experimentets gång testades tre av vardera luftlagrade, vattenlagrade och saltvattenlagrade provkroppar efter 6, 14 och 28 dygn för både ABD- och ABS-proverna. Provkropparna testades med Marshallstabilitetstest och förvärmades i vattenbad till $40,0^{\circ}\text{C}$. En avvikelse skedde vid förvärmning av samtliga referensprover där de värmdes till $46,6^{\circ}\text{C}$ vilket bedöms påverka resultatet.

Inför varje test studerades asfaltprovkropparna okulärt. Den okulära bedömningen visar att de saltvattenlagrade asfaltprovkropparna får små luftbubblor kring sig samt att saltvattnet förhåller sig klart. Vattnet som de vattenlagrade asfaltprovkropparna vilar i visar inledningsvis enstaka luftbubblor kring sig, vid 6 dygns lagring, men är helt borta efter 14 dygns lagring. Asfaltprovkropparna som vilar i enbart vatten erhåller en brunare färg över tid. Denna observation är likadan för både ABS och ABD, men där det finns en viss tidsskillnad i när och hur mycket de olika förändringarna utvecklas. Vattnet som ABS vilade i blev brunare än vattnet som innehöll ABD.

Resultaten av Marshallstabilitetstestet visar att vikten hos provkroppen spelar roll för kraften som asfaltprovkroppen tål. För de luftlagrade provkropparna visar resultaten att ABD-testerna efter 6 respektive 14 dygn har inbördes liknande Marshallstabilitet men att där sker en försämring för proverna efter 28 dygn. För ABD-proverna finns en mindre nedgång i Marshallstabiliteten för testerna utförda efter 14 och 28 dygn. ABS-proverna visar bättre Marshallstabilitet i luft. För de vattenlagrade asfaltproverna visar ABS-proverna den högsta Marshallstabiliteten både efter 6 och 14 dygn. Däremot visar ABS-proverna en försämrad stabilitet efter 28 dygn i vatten. ABD-proverna å andra sidan, visar en sämre Marshallstabilitet än ABS-proverna för 6 och 14 dygn, men bättre efter 28 dygn. ABD-proverna visar att det största brytpunkten i stabilitet återfinns i testerna utförda efter 14 och 28 dygn i jämförelse med 6 dygnstestet. De saltvattenlagrade provkropparna för både ABD och ABS visade snarlik stabilitet genom alla lagringstider. Däremot visade de en sämre Marshallstabilitet än ABS-proverna i luft och vatten efter 6 respektive 14 dygn men påvisar bättre stabilitet än övriga provkroppar, förutom de luftlagrade ABS-proverna, efter 28 dygn.

Generellt kan sägas att de saltvattenlagrade provkropparna erhåller en konsekvent marshallstabilitet över tid, möjlig orsak till denna skillnad föreslås vara osmos.

Nyckelord: Asfaltbetong, dränerande, ABD, Asfaltbetong, stenrik, ABS, Salt, Vägsalt, Saltlösning, Saltvatten, Snö, Is, Vatten, Luft, Oxidation, Lagring, Provning, Testning, Marshallstabilitet, Osmos, bindemedel, stenmaterial, Slitlager, Toppbeläggning, Asfalt, Vägar, Vinterväghållning, Drift, Asfaltprovkroppar, Provkroppar, Asfaltilaboration

Summary

This study aims to investigate how salt solution affects typical road wear courses in contrast to how air and water affect road surfaces. The wear layers are represented by the asphalt concrete Porous Asphalt (PA or ABD11 70/100) which is a draining road surface and Stone Mastic Asphalt (SMA or ABS11 70/100) which is a dense road surface. PA and SMA were used as contrasts to use in the experiment because PA has a much larger cavity than SMA and the influence of external substances can differentiate the wear layer types.

To be able to compare how the wear layer types are affected by the different media of storage, a total of 62 asphalt samples were produced, of which 31 were of the PA type and 31 of the SMA type. An asphalt specimen has a cylindrical form and has approximately dimensions of $\varnothing 102\text{mm}$ and a normal height of 60-75mm. Of the respective 31 asphalt samples, four were initially tested after manufacture as reference values and then nine were placed in a closed air vessel, nine in a closed water vessel and nine in a closed saltwater vessel with a salt concentration of 23%. The saltwater concentration of 23% was determined based on the eutectic properties of salt solution, where salt theoretically can melt ice down to -21°C .

The asphalt samples were produced over four days, where the first SMA-samples were produced over two days. Six days later, the PA-samples were produced over two days. In the manufacturing process, accepted methods and international standards were used.

During the experiment, three of each air-stored, water-stored, and salt-water-stored specimens were tested after 6, 14 and 28 days for both the PA and SMA samples. The samples were tested with Marshall stability tests and the asphalt samples were preheated in a water bath to 40.0°C . An inconsistency occurred when preheating the reference samples where they were heated to 46.6°C .

Before each test, the asphalt samples were studied visually. The ocular assessment shows that the asphalt samples stored in saltwater get small air bubbles around and that the salt water is very clear, while the asphalt samples stored in water initially acquire occasional air bubbles around them at the 6th day of storage but later are completely gone at the 14th day of storage. The asphalt samples resting in water alone acquire a browner colour over time, this observation is the same for both PA and SMA, but there was a certain time difference in when and how much the different changes occur. The water which SMA rested in, became browner than the water containing the PA.

The results of the Marshall stability test show that the weight of the specimen plays a major role in the force that the asphalt specimen can withstand. For the air-stored samples, the results show that the PA tests after 6 and 14 days have similar Marshall stability, but that there is a deterioration for the samples tested after 28 days. For the PA samples, there is a minor decrease in stability for the tests performed after 14 and 28 days. The SMA samples show better stability in air. For the water-stored asphalt samples, the SMA samples show the highest Marshall stability both after 6 and 14 days. In contrast, the SMA samples show a reduced stability after 28 days in water. The PA samples, on the other hand, show a worse stability than the SMA samples for 6 and 14 days, but better after 28 days. The PA samples show that the largest break point in stability is found in the tests performed after 14 and 28 days in comparison with the 6-day test. The saltwater-stored specimens for both PA and SMA showed similar stability throughout all storage times. On the other hand, they performed worse than the SMA samples in air and water after 6 and 14 days, respectively, but perform better than the other samples, apart from the air-stored ABS samples, after 28 days.

In general, it can be said that the saltwater-stored specimens maintained consistent Marshall stability over time, a possible reason for this difference is suggested to be osmosis.

Keywords: Asphalt Concrete, Draining, ABD, PA, Porous Asphalt, Asphalt Concrete, Dense, ABS, SMA, Stone Mastic Asphalt, Salt, Road Salt, Brine, Snow, Ice, Water, Air, Oxidation, Storage, Testing, Marshall Stability, Osmosis, Binder, Stone Material, Road surface, Topcoat, Asphalt, Roads, Winter Road maintenance, Operation, Asphalt test specimens, Test specimens, Asphalt laboratory

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	2
1.2	Syfte och frågeställning	3
1.3	Avgränsningar	4
2	Teori	4
2.1.1	Asfaltbetong	4
2.1.2	Bindemedel	6
2.1.3	Oxidation av bitumen och asfaltbetong	8
2.1.4	Vatten	9
2.1.5	Salt	10
3	Metod	12
3.1	Förstudie	12
3.1.1	Studie och analys	13
3.1.1.1	ABD11 70/100	14
3.1.1.2	ABS11 70/100	17
3.2	Tillverkning	20
3.2.1	Recepttillverkning	20
3.2.1.1	ABD11 70/100	21
3.2.1.2	ABS11 70/100	21
3.2.2	Tillverkningsprocessen	22
3.2.2.1	Materialuppvägning	22
3.2.2.2	Fövärmning av material	24
3.2.2.3	Blandning	24
3.2.2.4	Fördelning	25
3.2.2.5	Uppläggning	25
3.2.2.6	Kompaktering av Marshallprovkroppar	26
3.2.2.7	Utpressning ur form	27
3.3	Lagring och provning	28
3.3.1	Hållrumshalt	29
3.3.2	Marshallstabilitet	32
4	Resultat och diskussion	33
4.1	Okulära observationer	33
4.1.1	Referensobservation	33
4.1.2	Vid 6 dygns lagring	36
4.1.2.1	Luftlagrade prover	36
4.1.2.2	Vattenlagrade prover	37
4.1.2.3	Saltvattenlagrade prover	38
4.1.3	Vid 14 dygns lagring	39
4.1.3.1	Luftlagrade prover	39
4.1.3.2	Vattenlagrade prover	40

4.1.3.3 Saltvattenlagrade prover.....	41
4.1.4 Vid 28 dygns lagring.....	42
4.1.4.1 Luftlagrade prover.....	42
4.1.4.2 Vattenlagrade prover	43
4.1.4.3 Saltvattenlagrade prover.....	44
4.2 Datainsamling och beräkningar	45
4.2.1 Analys av krafter och deformation	46
4.2.1.1 Toppkraft	46
4.2.1.2 Elastisk kraft	47
4.2.1.3 Kraft / deformation	49
4.2.1.4 Inverkan av olika parametrar	50
4.2.2 Styvhetsanalys.....	53
4.2.2.1 Marshallstabilitet över tid	53
4.2.2.2 Marshallstabilitet i olika lagringsmedium	59
4.3 Slutdiskussion	61
4.4 Felkällor vid genomförande	64
4.4.1 Tillverkning.....	64
4.4.1.1 Materialuppvägning	64
4.4.1.2 Blandning.....	65
4.4.1.3 Fördelning.....	65
4.4.1.4 Uppläggning	66
4.4.1.5 Kompaktering av Marshallprovkroppar	66
4.4.2 Lagring och hålrumshalt.....	67
4.4.2.1 Hålrumshalt	67
4.4.2.2 Våg.....	67
4.4.2.3 Lagring	67
4.4.3 Tester i Marshallstabilitetspress	67
4.4.3.1 Vattenbad	67
4.4.3.2 Marshallpress och dator	68
5 Slutsatser.....	68
6 Framtida studier	69
Referenser	70
Bilagor	74
ABS Referensvärden.....	74
ABS, Luftlagrade	75
ABS, Vattenlagrade	77
ABS, Saltvattenlagrade	79
ABD, Referensvärden.....	81
ABD, Luftlagrade	82
ABD, Vattenlagrade	84
ABS, Saltvattenlagrade	86

1 Introduktion

Drift och underhåll av vägar är essentiellt för vårt samhälles grundläggande funktionalitet och upprätthållande. Under vinterhalvåret i Sverige råder ofta vinterväglag där vägsalt [NaCl] ofta används¹. Saltning av vägar sker idag i många länder världen över och av olika anledningar. Primärt används salt i Nordamerika och Europa, med halkbekämpning som huvudsyfte². På grusvägar är syftet ofta att dammbinda små finkorniga partiklar till vägen för att undvika att vägarna dammar³. Saltning av vägar har använts som driftmetod ända sedan 1940-talet och enligt Trafikverket sprids varje år ca 250 000 ton⁴ vägsalt ut på det svenska statliga vägnätet⁵. Därtill kommer även kommuner som också ansvarar för drift och underhåll för de kommunala vägarna. Med dessa mängder salt blir användandet även en kostnadsfråga för kommuner såväl som Trafikverket eftersom stora resurser krävs och används vid vinterväglag.



Figur 1: Vägsalt.⁶

¹ Trafikverket. "Vägsalt – bara där det behövs". *Trafikverket*. Senast uppdaterad 2023. Hämtad 17 mars, 2024. <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall/sa-skotervi-vagar/vintervaghallning/vagsalt---bara-dar-det-behovs/>

² M. Eric Benbow, Richard W. Merrit. *Road Salt*. (East Lansing Michigan: Michigan State University). 2005. https://www.researchgate.net/publication/229744415_Road_Salt (Hämtad 2024-03-13)

³ Skogskunskap. "Dammbindning". *Skogskunskap*. Senast uppdaterad 25 november, 2021. Hämtad 13 mars, 2024. <https://www.skogskunskap.se/vagar-i-skogen/drift-och-underhall/sommarunderhall/dammbindning/>

⁴ Lena Ojala, Elin Mellqvist. *Vägsalt Användning och påverkan på grundvattnet*. Sveriges Geologiska Undersökning. 2004:13.

<https://resource.sgu.se/dokument/publikation/sgurapport/sgurapport200413rapport/s0413-rapport.pdf> (Hämtad 2024-03-13)

⁵ Lena Ojala, Elin Mellqvist. *Vägsalt Användning och påverkan på grundvattnet*.

⁶ Bulk Highway. *The backbone of the deicing industry*. Compass Minerals. Fotografi <https://hwysalt.com/product/road-salt> (Hämtad 2024-03-13)

1.1 Bakgrund

Saltning av vägar råder det debatt om och är ett ämne där många olika intressenter både delar och skiljer åsikter och kunskap kring drift och underhåll. Några vanliga är till exempel fordonsägare, yrkeschaufförer, miljöorganisationer, kommuner, företag, cyklister och fotgängare där dessa intressenters åsikter ofta står i konflikt med varandra. Exempelvis kan cyklister och fotgängare ofta önska att vägar blir saltade medan miljöorganisationer brukar avråda från detta på grund av flera problem med salts inverkan på vattendrag och vegetation^{7,8,9}. Därtill kommer även väghållarna som ansvarar för driften av sina respektive vägar, vilket innebär en kostnadsfråga för till exempel kommuner och Trafikverket då det krävs resurser att sätta in vid vinterväglag. Trafikverket anger i dagsläget att saltning skall endast ske där det behövs¹⁰ och motiverar användandet av salt med:

”Vi bekämpar halka i första hand för att inte få stopp i trafiken. Utan halkbekämpning skulle den tunga trafiken riskera att stå still, framför allt i backar, vilket påverkar hela trafiken. Det kan bli totalstopp i flera timmar, komplicerade bärgningar, plog- och saltbilar kan fastna i köer. Skolskjutsar och många andra transporter kan få stora problem att ta sig fram.”¹¹

Komplikationerna som Trafikverket anger vara alternativet till en icke-saltad väg i vinterväglag kostar samhället och människorna mer än vad driftåtgärderna gör. Att upprätthålla drift är viktig för att säkerställa att varor och transporter skall kunna levereras samt att människor fortsatt skall kunna utföra sina arbeten och dagliga sysslor.

Trafikverket har fått mycket kritik genom åren både när det saltas och när det inte saltas^{12,13}. Användandet av vägsalt medför både fördelar och nackdelar. En fördel med användandet av vägsalt är att det under vintervägsförhållanden hjälper till att bibehålla en viss nivå av friktion vilket minskar risken för avåkningar och olyckor samt leder till minskade antal skadade och eventuellt

⁷ Sveriges Lantbruksuniversitet. ”Salta eller inte salta mot halka – en fråga om miljöpåverkan”. *Sveriges Lantbruksuniversitet*. Publicerad 22 februari 2022. Hämtad 17 mars, 2024. <https://www.slu.se/ew-nyheter/2022/2/salta-eller-inte-salta-mot-halka---en-fraga-om-miljopaverkan/#contact-information-header>

⁸ Trafikverket. ”Vägsalt – bara där det behövs”.

⁹ Göran Blomqvist. *De-icing and the roadside environment*. 2001. s 24, 25. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:8905/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2024-05-21)

¹⁰ Trafikverket. ”Vägsalt – bara där det behövs”.

¹¹ Trafikverket. ”Vägsalt – bara där det behövs”.

¹² Göran Persson. Trafikverket köper till saltning av väg – efter kritik mot vinterväghållningen. *Filipstads Tidning*. 21 februari 2024. <https://www.filipstadstidning.se/2024/02/21/trafikverket-koper-till-saltning-av-vag-efter-kritik-mot-vintervaghallningen-afc2e/>

¹³ Alexander Weimar. ”Vägsaltet skapar problem i norr och får kritik i söder”. *ATL*. 27 november, 2018. <https://www.atl.nu/vagsaltet-uppror-gotlanningarna-och-skapar-problem-for-norrbotten>

dödade i trafiken¹⁴. En nackdel med användandet av vägsalt är bland annat att det påverkar den omgivande vegetationen negativt med bland annat skador på vegetation som följd¹⁵. Det finns studier som visar att salt även kan skada VA-infrastruktur¹⁶. Enligt Finlands miljöcentral¹⁷ orsakar halkbekämpningsmedel olika skador och föroreningar i grundvattnet samt att en hög kloridhalt orsakar korrosion på vattenledningar, vilket löser upp vattenledningar och söndrar ut tungmetaller och kemikalierester som ger stora komplikationer för vattenkvalitén i samhället. Därför är det idag allt fler forskare som styr sina arbeten till att finna bättre och mer kostnadseffektivare alternativ till salt.

Trots att vägsalt innehar vissa positiva effekter på vinterväglaget är det fortfarande delvis oklart huruvida denna substans påverkar asfalt i slitlager ur ett materialperspektiv och ifall det finns väsentliga skillnader mellan de olika slitlagernas nedbrytning från påverkning av vägsalt.

1.2 Syfte och frågeställning

Examensarbetet har som syfte att utreda hur väl asfaltbetong, dränerande (ABD11 70/100) och asfaltbetong, stenrik (ABS11 70/100) tål last efter inverkan från luft, vatten och saltvatten samt om det finns direkta skillnader mellan asfaltp typerna och om det finns tidsberoende brytpunkter i asfaltbetongens hållfasthet.

Mer specifikt ämnar examensarbetet besvara följande frågeställningar:

1. Hur påverkar saltvatten ABD11 70/100 och ABS11 70/100?
2. Påverkar saltvatten ABD11 70/100 och ABS11 70/100 annorlunda än enbart vatten?
3. Finns det skillnader i hur ABD11 70/100 och ABS11 70/100 påverkas av vatten och saltvatten?
4. Finns det tidsberoende brytpunkter då hållfastheten hos ABD11 70/100 och ABS11 70/100 ändras i ett avvikande mönster? I så fall när?

¹⁴ William D Hintz et al. *Road Salts, Human safety, and the rising salinity of our fresh waters*. The Ecological Society of America. *Front Ecol Environ*. 2022. s 1.

<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/fee.2433> (Hämtad 2024-05-21)

¹⁵ Göran Blomqvist. *De-icing and the roadside environment*. s 24-25

¹⁶ Kelsey J. Pieper et al. *Impact of Road Salt on Drinking Water Quality and Infrastructure Corrosion in Private Wells*. *Environmental Science and Technology*. 2018.

https://www.researchgate.net/publication/328816224_Impact_of_Road_Salt_on_Drinking_Water_Quality_and_Infrastructure_Corrosion_in_Private_Wells (Hämtad 2024-03-18)

¹⁷ Finlands Miljöcentral. ”Alternativa halkbekämpningsmedel och förvaring av grundvatten (MIDAS)”.

Finlands Miljöcentral. Senast uppdaterad 2013. Hämtad 19 mars, 2024 https://www.syke.fi/sv-FI/Forskning_utveckling/Forsknings_och_utvecklingsprojekt/Projekt/Alternativa_halkbekampningsmedel_och_forvaring_av_grundvatten_MIDAS

5. Hur stor är skillnaden mot torra exemplar av ABD11 70/100 och ABS11 70/100?

1.3 Avgränsningar

Arbetet behandlar uteslutande hur slitlagertyperna asfaltbetong, dränerande (ABD11 70/100) och asfaltbetong, stenrik (ABS11 70/100) påverkas av luftlagring, vattenlagring och saltvattenlagring och studera eventuella inbördes skillnader och ifall det finns tidsberoende skillnader för dess eventuella nedbrytning. Endast laboratorietillverkade asfaltprovkroppar analyseras med Marshallstabilitetstester. Provkropparna studeras även okulärt.

2 Teori

För att lägga en grund för arbetet kommer denna del redovisa alla ingående beståndsdelar inom asfalt och de lagringsmedium som experimentet använder.

2.1.1 Asfaltbetong

Asfaltbetong kallas den sammansättning av stenmaterial och bituminöst bindemedel som bildar ett hårt material och som används i vägars slitlager samt bundet bärlager, se Figur 2.



Figur 2: Vägkroppens uppbyggnad.¹⁸

Stenmaterialet i asfalt består av olika kornfraktioner som framställs genom att krossa och sortera sprängsten eller naturgrus¹⁹. Krossat material ger vanligen bättre hållfasthet än naturgrus. Naturgrus räknas också som ändlig resurs vilket betyder att krossat material nästan alltid används²⁰.

¹⁸ Trafikverket. *Krav TRVINFRA-00224 V2.0 Vägöverbyggnad: Överbyggnad väg, Dimensionering och utformning*. Trafikverket. Publicerad 2021-04-01. s 14.

https://puben.trafikverket.se/dpub/api/v1/Dokument/DownloadDokument?id=1095b19b-3f91-499a-a6bd-0c0c63e5726e&dokumentName=Krav%20TRVINFRA-00224%20C3%96verbyggnad%20vaeg.%20Dim%20v2_0.pdf (Hämtad 2024-03-19)

¹⁹ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. 1 uppl 3. (Stockholm: Liber, 2014). s 65.

²⁰ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 65.

Det stenmaterialet som används i asfaltbetong är därmed nästan alltid bergskross. För olika ändamål varierar kraven som ställs på kvalitén²¹. Kvalitetens parametrar mäts dels genom Micro-Deval test för krossningsresistansen, dels med kulkvarn som provar nöttningsresistansen från dubbdäck hos ett stenmaterial²².

För stenmaterialet finns det flera olika kornstorlekar som bestäms genom siktning och beläggningstypen avgör vilka av dessa storlekar som används²³. Kornstorlekarna som används i asfaltbetong är sällan över \varnothing 32mm²⁴. Stenmaterial med kornfraktioner $>\varnothing$ 32mm förekommer ofta i obundna lager (obundet bärlager, förstärkningslager och/eller skyddslager)²⁵.

Asfaltbetongens egenskaper bestäms utifrån kornkurvan som består av olika fraktioner och det är endast dessa fraktioner som tas fram med hjälp av siktning. Via siktning kan en kornkurva bestämmas. De olika kornstorlekarna i en kornkurva brukas benämnas utifrån sin storlek, se Tabell 1.

Tabell 1: Kornstorleksfraktioner för asfaltbetong.

Fraktion
16+ mm \varnothing
11–16 mm \varnothing
8–11 mm \varnothing
6–8 mm \varnothing
4–6 mm \varnothing
2–4 mm \varnothing
0–2 mm \varnothing
Filler ($<0,063$ mm)

Filler är mycket små korn som återfinns i stenmaterial och har uppgiften att sammanbinda större fraktioner, försegla och stabilisera materialet. Dessutom bidrar filler till att öka styvheten hos det bindemedel som finns i asfaltbetongen²⁶.

²¹ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 66-67.

²² Asfaltboken. ”Stenmaterial: 4.1.14 Konsekvenser av europastandarder för svenska förhållanden”. *Asfaltboken*. Hämtad 22 maj, 2024. <https://asfaltboken.se/stenmaterial/>

²³ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 67.

²⁴ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 66.

²⁵ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 66.

²⁶ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 66.

2.1.2 Bindemedel

Bindemedlet i asfaltbetong består av bitumen som är en högmolykylär kolväteblanning vars egenskaper kännetecknar en mörk, halvfast till mycket hård, smältbar, petroleum-baserad vätska som utvinns genom destillation av tyngre råolja²⁷, se Figur 3: Bitumen.



Figur 3: Bitumen.²⁸

Likt stenmaterial finns också olika typer av bitumen där den största skillnaden är inbördes hårdhet och temperaturberoende. De vanligaste testmetoderna för bitumentypen brukar bestämmas genom att testa mjukpunkten genom kularing metoden²⁹ samt penetrationstester, där en standardiserad nål får låtas penetrera bituminet vid 25°C där den resulterande penetrationen används för att gradera bitumen. Till exempel innebär graderingen 70/100 att penetrationen uppgår till minimalt 0,7mm och maximalt 1mm. En hårdare bitumentyp får ett lägre penetrationstal³⁰.

Bitumen fyller flera olika funktioner i en asfaltbetong. Till exempel är bitumen vidhäftande vilket gör att stenmaterialet asfaltbetongen fästs ihop och hålls samman genom att ballasten klistras ihop³¹. Bitumen är också svagt formbar och förbättrar stenmaterialets lastupptagningsförmåga vid påfrestning

²⁷ Asfaltboken. "Bindemedel: 5.2 Allmänt". *Asfaltskolan*. Hämtad 19 mars, 2024.

<https://asfaltboken.se/bindemedel/>

²⁸ RAHA Bitumen Co. *Bitumen components*. RAHA Group. Fotografi. <https://rahabitumen.com/bitumen-components/> (Hämtad 2024-05-21)

²⁹ Swedish Standard Institute. *Svensk Standard SS-EN 1427:2015: Bitumen och bitumeniösa bindemedel – Bestämning av mjukpunkt – Kula och Ring-metoden*. Utgåva 3. 2015. s.4

<https://sisseweb.sis.se/api/document/preview/8016649/> (Hämtad 2024-05-16)

³⁰ Asfaltboken. "Bindemedel: 5.7.2 Penetrationstal". *Asfaltskolan*. Hämtad 21 maj, 2024.

<https://asfaltboken.se/bindemedel/>

³¹ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägoöverbyggnad*. s 60.

från trafik³². Dessutom är bitumen förseglande och skyddar vägöverbyggnaden från vatten och kemikalier som befinner sig på vägen³³. Bitumen har därmed en betydande effekt för vägens kvalitet, jämnhet, motståndskraftighet och livslängd.

I områden med ett varmare klimat, används ett bitumen med en högre mjukpunkt än länder med ett kallare klimat. I länder med ett kallare klimat kan andra bitumensorter användas för att hantera olika beläggningsskador³⁴. Används ett bitumen med för låg värmeresistens, tillsammans med låg hålrums halt kan vägen riskera att blöda, ett fenomen som uppstår då bituminet blivit mycket varmt och viskositeten minskat, vilket gör att bituminet pressas upp ur asfalten av sig självt eller också vid kompression från trafik³⁵. Dessutom finns större risk för deformation i asfalten³⁶. Används ett bitumen med för hög fryspunkt i ett kallt klimat ökar risken för sprickor och krackelering³⁷.

Olika alternativa bindande material har testats och försök har gjorts för att finna alternativ till traditionell bitumen. Det genomförs olika försök med att använda andra typer av vätskor som bindemedel i asfalt. Ett exempel på detta är växtbaserat bindemedel.³⁸

³² Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 60.

³³ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 63.

³⁴ Munish Rathee, Boris Bacic och Maryam Doborjeh. *Automated Road Defect and Anomaly Detection for Traffic Safety: A Systematic Review*. Basel, Schweiz. Sensors. 2023. s 3. https://mdpi-res.com/d_attachment/sensors/sensors-23-05656/article_deploy/sensors-23-05656.pdf?version=1686925247

³⁵ Trafikverket. "Hala vägar på sommaren". *Trafikverket*. Senast uppdaterad 10 april, 2024. Hämtad 22 maj, 2024. <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall/sa-skotervi-vagar/underhall-av-belagda-vagar/hala-vagar-pa-sommaren/>

³⁶ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 62.

³⁷ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 62.

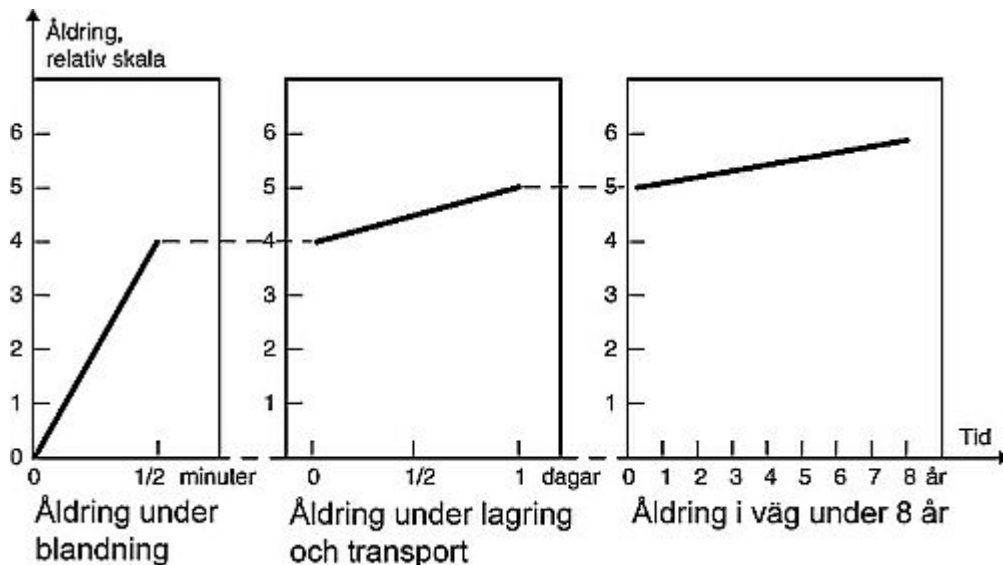
³⁸ Vinnova. "Biobased asphalt for sustainable infrastructure". *Vinnova. Pågående forskning*. 2022-2025. Hämtad 22 maj, 2024 <https://www.vinnova.se/p/biobased-asphalt-for-sustainable-infrastructure/>

2.1.3 Oxidation av bitumen och asfaltbetong

Asfaltbetong, som mycket annat, påverkas av luft och oxidation. Oxidation anses vara den viktigaste orsaken till förhårdning av bitumen och påverkar speciellt porösa asfalttyper såsom ABD på grund av den höga hålrumshalten vilket innebär att mer asfaltmassa exponerad mot luft³⁹. Oxidation sker genom avdunstning av lättflyktiga organiska föreningar (VOC). En tjockare asfalthinna motstår oxidation under längre tid⁴⁰ än en tunnare. När asfalt tillåtit oxidera blir det hårdare och samtidigt sprödare⁴¹. Bituminets flexibilitet försämras alltså med tid.

Oxidationshastigheten bestäms främst av temperatur, syretillgång, tid, hålrumshalt och bitumens tjocklek⁴². Med tjocklek avses vilken typ av bitumen. Vid lagring av asfaltmassan, för att inte åldra asfaltmassan i onödan, kan asfaltens lufttillträde täckas⁴³.

Åldring av bitumen sker i flera steg där det under de första minuterna efter tillverkning, när bitumen hunnit svalna och sätta sig, som den kraftigaste ökningen av hårdhet är att förväntas⁴⁴, se Figur 4.



Figur 4: Åldring av bitumen.⁴⁵

³⁹ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 63.

⁴⁰ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 63.

⁴¹ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 61.

⁴² Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 63.

⁴³ Asfaltboken. "Bindemedel: 5.10.5 Åldring av bitumen". *Asfaltskolan*. Hämtad 22 maj, 2024.

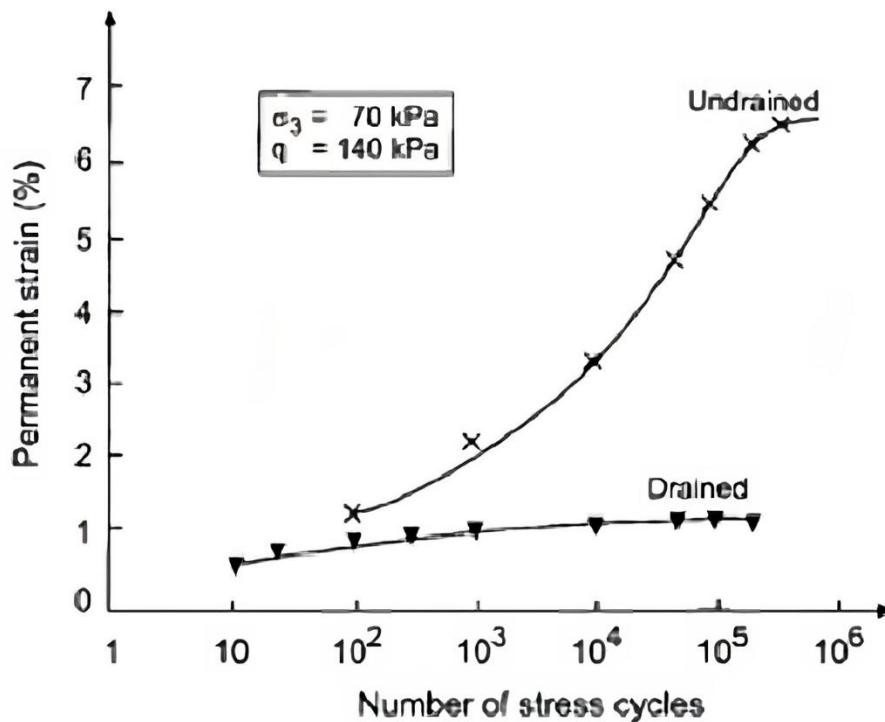
<https://asfaltboken.se/bindemedel/>

⁴⁴ Asfaltboken. "Bindemedel: 5.10.5 Åldring av bitumen".

⁴⁵ Asfaltboken. "Bindemedel: 5.10.5 Åldring av bitumen".

2.1.4 Vatten

Det är länge känt att vatten har en inverkan på vägar. Fukt kan vara negativt för en vägs livslängd. Vatten ovanpå en beläggning är tidigare bevisat att öka det aktiva slitaget på trafikerade vägar. Utmattningen är uppmätt till ca 7 gånger fortare på en blöt beläggning jämfört med en torr beläggning, se Figur 5.



Figur 5: Nedbrytningsprocessen av väg, dränerad jämfört med odränerad.⁴⁶

Anledningen till att vatten i slitlagret orsakar hastigare utmattning beror dels på vatten som fyller porerna i asfalten, som gör lastfördelningen ofördelaktig och utsätter således asfalten för ett högre tryck i samband med påfrestning från kraft⁴⁷. Dessutom ökar nötningsslitaget med en våt vägyta eftersom vatten orsakar sämre vidhäftning⁴⁸. En blöt vägyta blir som en våtslipning av asfalten när fordon passerar och nöter således ned slitlagret i en högre takt.

Den passiva nedbrytningen är fortfarande relativt oklar. Det går dock att konstatera att stenmaterialet är, till skillnad från bitumen, hydrofilt. Detta

⁴⁶ Carl Roos Bierman. *A design function of Bitumen Stabilised Material Performance based on laboratory and field evaluation*. publicerad mars 2018. Stellenbosch University. s 32.

<https://www.semanticscholar.org/paper/A-design-function-for-bitumen-stabilised-material-Bierman/24e74b5fcd40adc35d4c65e646992fb96d43e7a2> (Hämtad 2024-05-22)

⁴⁷ Carl Roos Bierman. *A design function of Bitumen Stabilised Material Performance based on laboratory and field evaluation*. s 33.

⁴⁸ Asfaltboken. "Bindemedel: 5.10.3 Funktionsegenskaper i beläggning vid låga temperaturer". Hämtad 22 maj, 2024. <https://asfaltboken.se/bindemedel/>

innebär att stenmaterialet hellre vill omslutas av vatten än bitumen. Detta fenomen ställer till med problem för väghållare som vill förhindra att vatten tränger ner i asfalten och överbyggnaden vilket orsakar sättningar och försämrar bituminets vidhäftning⁴⁹.

2.1.5 Salt

Salt eller natriumklorid [NaCl] är en jonförening av grundämnena natrium [Na] och klor [Cl]. Enligt oktettregeln⁵⁰ vill båda grundämnena uppnå balans i deras yttre valensskal, varvid natrium avger en elektron [Na]⁺ där klor upptar denna [Cl]⁻. Således blir natrium positivt laddat och klor negativ laddat. Natrium och klor bildar då en jonförening, natriumklorid [NaCl], som i vardagligt tal benämns som vanligt koksalt.

Även om det idag finns fler alternativ⁵¹ till det traditionella vägsaltet som till exempel kalciumklorid [CaCl₂], magnesiumklorid [MgCl₂] eller kaliumklorid [KCl] är salt [NaCl] fortfarande den främsta substansen som används vid halkbekämpning. Vägsalt innehåller även gips [CaSO₄] och natriumferrocyanid [Na₄Fe(CN)₆ x 3H₂O] för att substansen skall förbli granulär i dess förvaring och utspridning⁵². Salt [NaCl] används främst på grund av enkelheten i förvaringen, effektiviteten i smältförmågan, lättheten i utspridning och dess låga, i förhållande till alternativen, ekonomiska kostnad⁵³.

Salt [NaCl] har många olika egenskaper som påverkar det som kommer i kontakt med substansen. Salts [NaCl] kristalliska struktur förser, när det kommer i kontakt med vatten [H₂O], anti-frysande egenskaper till vattnet genom att skapa en effektiv eutektisk blandning, vilket innebär att vatten erhåller en lägre fryspunkt. För is- och snöytor på vägar innebär det att is- och snöytorna smälter och erhåller en lägre fryspunkt än 0°C och kan således skapa bättre förutsättningar för trafikanter. Dessutom blir snön och isen mer hanterbar för vägskötare som plogar vägen.

⁴⁹ Asfaltboken. "Bindemedel: 5.10.4 Vidhäftning". *Asfaltskolan*. Hämtad 22 maj, 2024.

<https://asfaltboken.se/bindemedel/>

⁵⁰ Naturvetenskap.se. Oktettregeln. *Naturvetenskap Sverige handelsbolag*. Hämtad 22 mars, 2024.

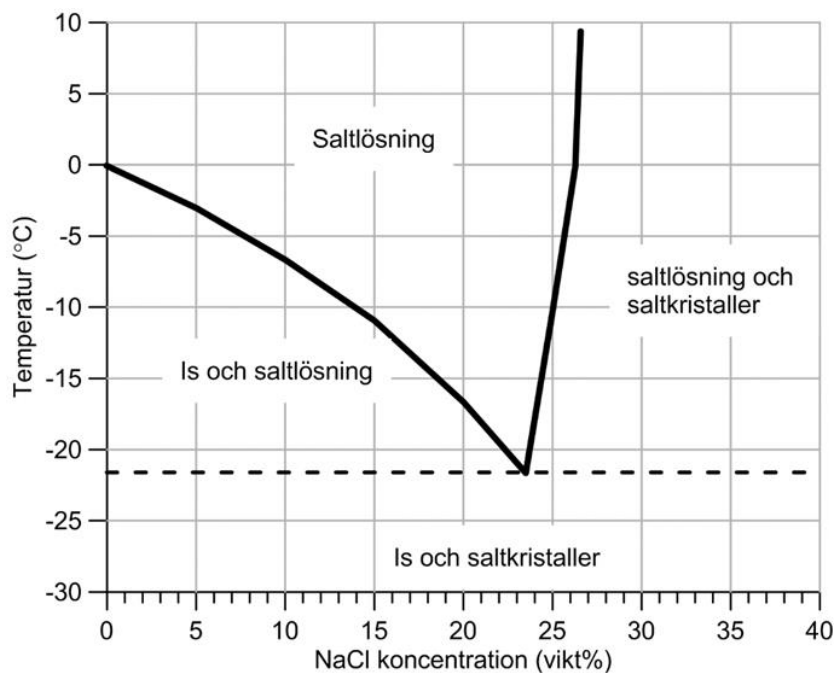
<https://naturvetenskap.se/kemi/gymnasiekemi/atomens-uppbyggnad/elektroner/oktettregeln/>

⁵¹ Finlands Miljöcentral. *Alternativa halkbekämpningsmedel och förvaring av grundvatten (MIDAS)*. 2013.

⁵² EcoConcept. "Fakta om användningen av vägsalt". *EcoConcept AB*. Senast uppdaterad 2021. Hämtad 22 mars, 2024. <https://ecoconcept.se/nyheter/fakta-om-anvandningen-av-vagsalt/>

⁵³ M. Eric Benbow, Richard W. Merrit. *Road Salt*. 2005.

Däremot sker endast en effektiv eutektisk blandning av salt och vatten som kallast vid -21°C ⁵⁴ och försmältningsprocessen försvåras succesivt från 0°C . Ju kallare desto högre salthalt krävs för att smälta is- och snöytor, Figur 6.



Figur 6: Fasdiagram för salt och is.⁵⁵

Väghållaren behöver säkerställa att koncentrationen av salt är tillräcklig för att hantera den is som finns på vägbanan. Dessutom kan den mängd snö och is som vägsaltet löst upp åter bilda blank is ifall temperaturen skulle falla drastiskt.

Tumregeln finns att åskåda i Figur 6 där det är optimalt att hålla sig inom rutan "saltlösning". Hamnar vägen efter saltning inom "is och saltlösning" innebär det att vägen kan få försämrade friktion. Vidare, hamnar vägens tillstånd i "saltlösning och saltkristaller" smälter visserligen is- och snöytorna, men väghållaren har använt mer salt än vad förhållandena krävde. Som tidigare nämnt är det under normala förhållanden teoretiskt omöjligt att smälta is- och snöytor med hjälp av salt vid temperaturer under -21°C och saltanvändande är därför helt onödigt under dessa temperaturer. Enligt en amerikansk studie om vägsalt⁵⁶ har det rapporterats om att den lägsta praktiskt effektiva smältningen är mellan 0°C och -15°C då smälteffekten blir sämre med en lägre temperatur.

⁵⁴ M. Eric Benbow, Richard W. Merrit. *Road Salt*. 2005.

⁵⁵ Göran Blomqvist och Anna Niska. *Sopsaltning i Karlstad, Utmaningar och möjligheter*. Statens väg- och transportforskningsinstitut. 2015. s 17. <https://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:867108/FULLTEXT01.pdf> (Hämtat 2024-05-22)

⁵⁶ M. Eric Benbow, Richard W. Merrit. *Road Salt*. 2005.

Noterbart är att koncentrationen om 23% förmodligen aldrig används direkt som giva av Trafikverket vid utspridning. Trafikverket skriver:

”Vanligen saltar vi när temperaturen är ner till 6-10 minusgrader. Saltar vi vid riktigt låga temperaturen kan saltet i värsta fall få motsatt effekt. När det är kallare är vägbanan ofta bar och sträv och behöver inte halkbekämpas.

När det snöar eller regnar vid mycket låga temperaturer får vi riktigt besvärliga trafikförhållanden. Då ställs det stora krav på att trafikanterna anpassar hastigheten och håller extra stora avstånd. I extrema fall brukar vi uppmana alla som inte måste resa att avvakta ett bättre väglag.

Ibland saltar vi vid kallare än 10 minusgrader när prognosen visar på mildare väder.”⁵⁷

Däremot kommer vägytan att uppleva alla olika typer av koncentration eftersom fordonens rörelser medför att vatten och salt skvätter och sprids omkring på körbanan⁵⁸. Det naturliga tvärfallet på vägarna får också vatten att rinna av varvid vägsaltet följer med avrinningen ner i diken. Finns sättningar eller spårbildning på vägytan kan dessa skapa en zon med förhöjd koncentration av salt⁵⁹.

3 Metod

Metodiken som används i arbetet bryts ned i flera delar. En experimentell analys genomfördes med slitlagren asfaltbetong, dränerande (ABD11 70/100) och asfaltbetong, stenrik (ABS11 70/100) som används i Sverige. I metod ingår en förstudie, tillverkning av provkroppar, samt lagring och marshallstabilitetstest av dessa.

3.1 Förstudie

Först genomförs en förstudie för att utreda vilken koncentration av saltlösning som bör användas vid experimentet för att efterlikna verkligheten i bästa möjliga mån.

För detta tillfrågades PhD Göran Blomqvist från forskningsinstitutet VTI om hur saltmaskiner sprider ut salt på vägarna. 10–20 gram/m² angavs utspridningen till. Därmed kan det sägas att koncentrationen alltid varierar

⁵⁷ Trafikverket. ”Vägsalt – bara där det behövs”.

⁵⁸ Göran Blomqvist. *De-icing and the roadside environment*. s 24-25

⁵⁹ Göran Blomqvist. *De-icing and the roadside environment*. s 24-25

både genom att salt skvätts omkring och genom ojämn utläggning på vägen och det alltid kommer finnas mer eller mindre vägsalt på någon yta i vägen⁶⁰.

Inledningsvis gjordes en fältstudie med ett så kallat ”Wettex-experiment” vilket går ut på att väga och mäta dimensionerna för en torr Wettex-trasa. Därefter läggs denna trasa på en asfaltyta som anses vara blöt i den mån som efterfrågas i experimentet, i detta fall en synnerligen blöt väg, då vägsalt används vid snöfall och vägen blir således mycket blöt. Därefter vägs den blöta Wettex-trasan och en slutsats kan dras kring hur mycket vatten en ”blöt” asfaltyta innehåller. Därefter räknas en saltkoncentration ut.

I examensarbetet används asfaltkroppar med en vikt om ca 1150-1250g som sänks ned i saltvattenbad. Dessa saltvattenbad rymmer 10l vatten varvid en lämplig saltkoncentration eftersöks. Utifrån teorin valdes dock koncentrationen till 23%, eftersom det i arbetets frågeställning efterfrågas om det finns en skillnad i nedbrytning med salt, gentemot vatten- och luftlagrade asfaltkroppar.

3.1.1 Studie och analys

ABD11 70/100 valdes som representant för asfaltbetong, dränerande. För asfaltbetong, stenrik valdes ABS11 70/100 som representant. För att ta reda på hur slitlagerna ABD11 70/100 och ABS11 70/100 påverkas av saltvatten respektive vatten jämfört med provkroppar som lagrats i luft genomfördes tre testtillfällen med 31+31 provkroppar av ABD11 70/100 respektive ABS11 70/100. Dessa prover placerades helt nedsänkt i ett saltvattenkär, ett vattenkär och ett kär där provkropparna lagras i luft. Kärlen förslöts för att undvika avdunstning och lagringen placerades i ett öppet rum med en temperatur om ca 23-24°C. I experimentet genomfördes tre testningstillfällen där tre exemplar av provkropparnas testades för att undersöka eventuell spridning i resultatet. Under testtillfällena testades alla tre metoderna för nedbrytning, saltvatten, vatten och luft. Därmed testades totalt 9+9+9 provkroppar för ABD11 70/100 respektive ABS11 70/100 för vardera testtillfälle. Testtillfällena bestämdes utifrån antal planerade dagar de skulle lagras. Fyra provkroppar testades efter tillverkning som referensvärden. Allt som allt tillverkades 54+8 provkroppar för experimentet se Tabell 2.

⁶⁰ Göran Blomqvist, PhD och senior forskare vid Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI). E-post. 1 februari 2024.

Tabell 2: Översikt över experimentets upplägg samt kvantiteten för testtillfällena i experimentet.

Tillfälle 0	Tillfälle 1, 6 dygn	Tillfälle 2, 14 dygn	Tillfälle 3, 28 dygn
4 ABD	3 ABD Saltvatten	3 ABD Saltvatten	3 ABD Saltvatten
4 ABS	3 ABS Saltvatten	3 ABS Saltvatten	3 ABS Saltvatten
	3 ABD Vatten	3 ABD Vatten	3 ABD Vatten
	3 ABS Vatten	3 ABS Vatten	3 ABS Vatten
	3 ABD Luft	3 ABD Luft	3 ABD Luft
	3 ABS Luft	3 ABS Luft	3 ABS Luft

Asfaltprovkropparna tillverkades enligt svensk standard. För att undvika felkällor såsom skillnader i blandning och ålder tillverkades provkropparna i tätast möjliga tidsintervall. Därefter nedsänktes dessa provkroppar i respektive kärl för att lagras i ca en månad med testtillfällena efter 6, 14 och 28 dygn. När tiden var inne testades provkropparna i ett asfaltlaboratorium med hjälp av en Marshallpress. Alla tester genomfördes efter samma lagringstid för de olika provkropparna. Provkropparna analyserades kring vilken och hur stor påfrestning de genomgått.

Tillverkning av provkropparna genomförs i V-husets laboratorium på Lunds universitet i Lund, Sverige.

En provkropp väger mellan 1150g-1250g. Blandningsutrustningen i laboratoriet kan maximalt blanda 7kg asfaltmassa åt gången. För att uppnå 30 provkroppar per beläggningstyp krävdes alltså $1,250 \cdot 30 = 37,5\text{kg}$ vilket betyder att i teorin krävdes $\frac{37,5}{7} = 5,36$ blandningar per recept.

För att redovisa experimentets genomförande krävdes beräkningar kring hur mycket stenmaterial, filler och bitumen som krävs för att uppnå de standarder på asfaltprovkropparna som ställs enligt Trafikverket. Både asfaltbetong, dränerande (ABD) och asfaltbetong, stenrik (ABS) listas i Trafikverkets styrdokument från 2020⁶¹.

3.1.1.1 ABD11 70/100

ABD11 70/100 är en typ av asfaltbetong som tack vare sin höga hålrums halt erhåller dränerande egenskaper. Vatten tillåts i måttlig grad tränga ner i slitlagret. Normalt är viljan att undvika vatten i vägöverbyggnaden på grund

⁶¹ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager TDOK 2013:0529 V4.0. 2020.*
<https://trvdokument.trafikverket.se/fileHandler.ashx?typ=showdokument&id=b5efecce-530d-4087-b149-a6f61d8362ba> (Hämtad 2024-03-22)

av risken för sättningar och inbördes omformationer inom vägöverbyggnaden vilket kan resultera i att vägens livslängd förkortas. ABD är också effektivt mot att minska risken för vattenplaning samt ger ett bättre våtgrepp för fordon och kan med fördel anläggas på de platser där vattenrelaterade säkerhetsrisker annars medför en större risk⁶². Däremot ökar risken för frosthalka i och med att is och vatten kan befinna sig djupare ner i asfalten vilket också kräver en större saltkoncentration vid halkbekämpning⁶³.

En annan egenskap som ABD har är att asfalten i sig är mer bullerdämpande än andra asfalttyper vilket också gör asfalten lämplig inom bostadsområden⁶⁴. ABD i sig ger också en god vägstabilitet⁶⁵.

ABD är också svårare för asfaltsarbetare att tillverka i och med dess hålrums halt. Till skillnad från en tät beläggning, har ABD endast ett fåtal kontaktpunkter där all kraft ska överföras vilket leder till mer koncentrerad kraft i färre punkter. Alltså gör den inbördes asfaltstexturen beläggningen mer känslig för nötning och stensläpp. Effekten förstärks vid användande av dubbdäck. Detta gör att vägytan för en ABD slits snabbare och kräver fler underhållsåtgärder under sin livstid⁶⁶. ABD rekommenderas enligt Trafikverket¹⁴ anläggas på vägar med en ÅDT_k om ca 500 till 4000 f/d⁶⁷.

Trafikverket sammanställer fördelar och nackdelar med ABD, se Tabell 3 nedan.

⁶² Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 73.

⁶³ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 18.

https://bransch.trafikverket.se/contentassets/46aaaeff7d264c71b8ec953091e24ace/1994_26_bitumenbundna_lager.pdf (Hämtad 2024-03-22)

⁶⁴ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 73.

⁶⁵ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 74.

⁶⁶ Sven Agardh och Ebrahim Pharhamifar. *Vägöverbyggnad*. s 73.

⁶⁷ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 33.

Tabell 3: För- och nackdelar med ABD.⁶⁸

Fördelar	Nackdelar
<ul style="list-style-type: none"> • God retroreflektion, även vid våt vägbanan. • Dränerande, minskar risken för stänk. • Minskar risken för vattenplaning. • God friktion även vid våt vägbanan. • God bullerdämpande förmåga • God stabilitet 	<ul style="list-style-type: none"> • Ökad risk för frosthalka. • Kräver större saltgiva vid kemisk halkbekämpning. • Svår att handlägga. • Viss känslighet för mekanisk åverkan, t. ex avnötning från dubbdäck. • Speciellt känslig för oljespill. • Ställer stora krav på underlaget. • Slits ner snabbare än motsvarande tät beläggning. • Åldras snabbare än tät beläggning. • Kräver extra insatser i underhåll.

För att försäkra sig om kvalitén på en ABD bör kvaliteten motsvara enligt Tabell 4 nedan.

Tabell 4: ABD Kvalitetsvärden.⁶⁹

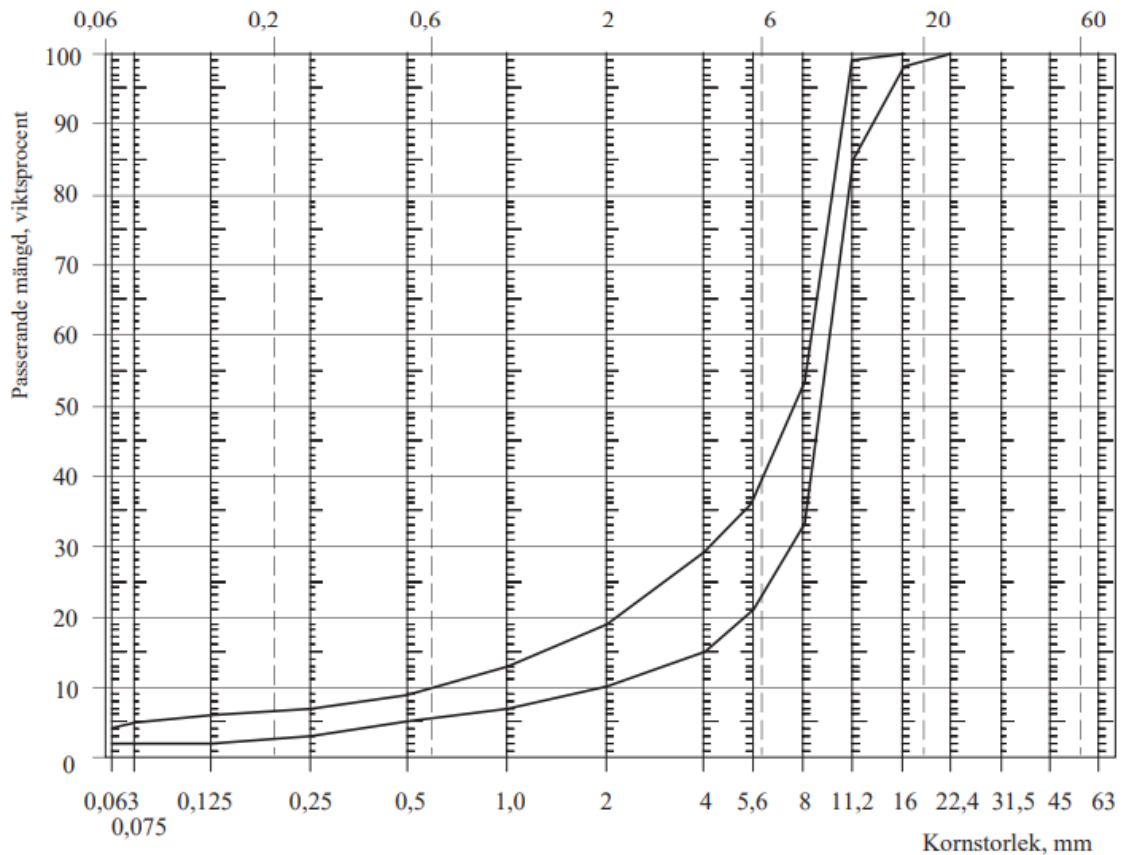
ÅDT _{k,just}	Flisighetindex	Kulkvarnsvärde	Sliphetstal	Sprödhet	Andel helt okr i %
3500–7000	1,40	9	1,8	45	10

Kornkurvan för ABD 11 70/100 ser ut på följande sätt, och den faktiska kornkurvan för stenmaterialet i arbetsreceptet ska ligga mellan

⁶⁸ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 18.

⁶⁹ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 52.

avgränsningarna i Figur 7 Figur 7: Kornkurva ABD11. för att klassas som en ABD11.



Figur 7: Kornkurva ABD11.⁷⁰

3.1.1.2 ABS11 70/100

ABS11 70/100 är en typ av asfaltbetong som med hjälp av hårt sammanpackat stenmaterial med hög andel av de grövre fraktionerna samt en väsentlig del fyller erbjuder en god sammansättning i sin inbördes struktur vilket gör asfalten stabil och tät⁷¹. ABS släpper inte igenom något vatten och risken för vattenplaning är större jämfört med en ABD. En ABS-beläggning ger ett utmärkt nötningsskydd, god slitstyrka och är mindre benägen för plastiska deformationer⁷².

ABS används på högtrafikerade vägar där stora trafikflöden förekommer såsom motorvägar eller riksvägar och lämpar sig också till vägar där hög dubbdäcksanvändning förekommer⁷³. ABS används också där hög andel tung

⁷⁰ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 52.

⁷¹ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 17.

⁷² Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 17.

⁷³ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 17.

trafik förekommer som till exempel i bussfiler, vid trafikljus, godsterminaler eller vid spårbunden trafik där både krav på underhållsvänlighet och åldersbeständighet ställs⁷⁴.

Med ABS kan det finnas risk för spegling vid våt vägbana eftersom retroreflektionen är förhållandevis sämre hos en ABS än jämförelsevis en ABD. ABS förekommer också som justeringslager och reparationsasfalt, där ojämnheter kan planas ut med hjälp av ABS.

Trafikverket sammanställer fördelar och nackdelar med ABS enligt Tabell 5.

Tabell 5: För- och nackdelar med ABS.⁷⁵

Fördelar	Nackdelar
<ul style="list-style-type: none"> • Tät beläggningstyp. • Mycket god nötningsresistens. • Mycket goda stabilitetsegenskaper. • Kan användas för justering av ojämnheter. • Låg separationsbenägenhet. • God åldringsresistens. • God friktion efter inslitning. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräver noggrann proportionering och tillverkning. • Viss risk för initiala friktionsproblem. • Viss risk för spegling vid våt vägbana när beläggningen är ny. • Något omständligare än ABT att tillverka. (Asfaltbetong, tät) • Svår att lägga för hand.

För att försäkra sig om kvalitén på en ABS bör kvaliteten motsvara enligt Tabell 6 nedan.

Tabell 6: ABS Kvalitetsvärden.⁷⁶

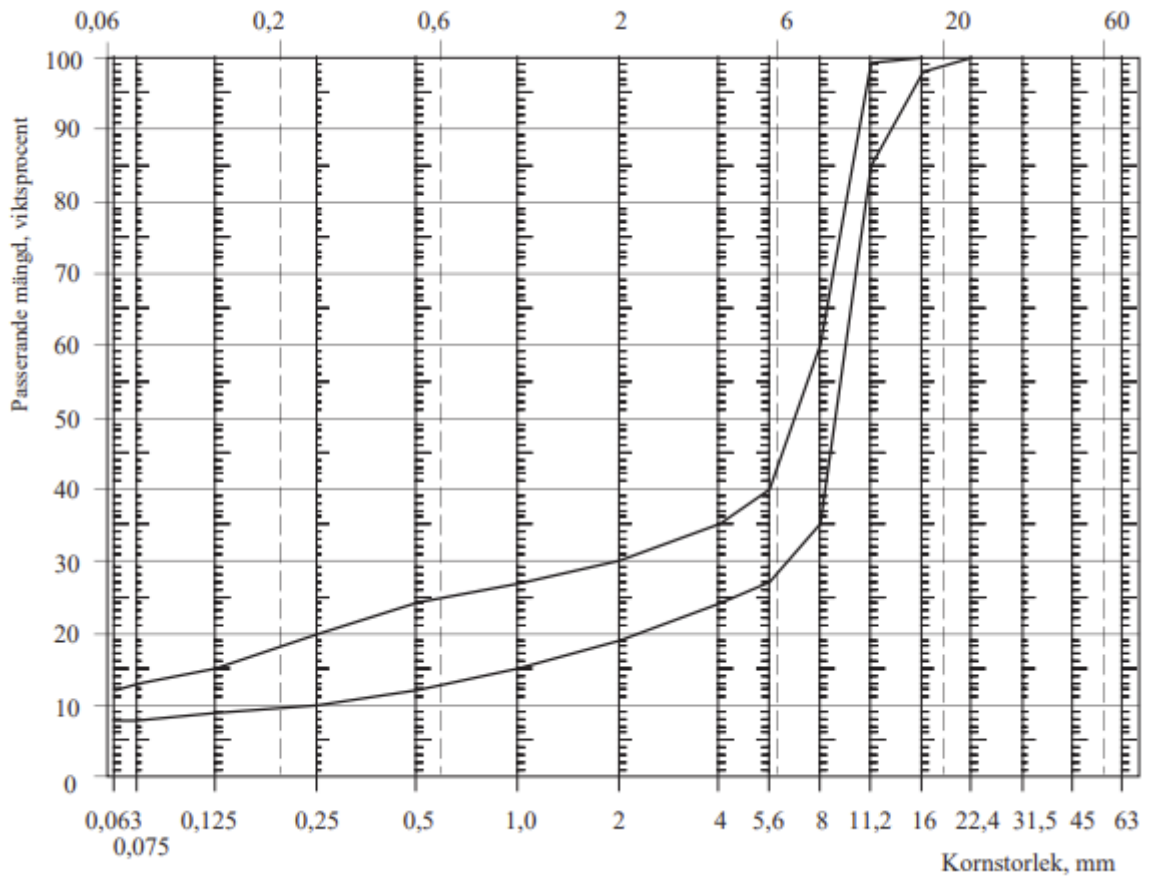
ÅDT _{k,just}	Flisighetindex	Kulkvarnsvärde	Sliphetstal	Sprödhet	Andel helt okr i %
3500–7000	1,40	9	1,8	50	10

⁷⁴ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 17.

⁷⁵ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 17.

⁷⁶ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 48.

Kornkurvan för ABS11 70/100 ser ut på följande sätt, och den faktiska kornkurvan för stenmaterialet i arbetsreceptet ska ligga mellan avgränsningarna i Figur 8.



Figur 8: Kornkurva ABS 11.⁷⁷

⁷⁷ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991. s 48.

3.2 Tillverkning

3.2.1 Recepttillverkning

Stenmaterialet som används i experimentet håller den efterfrågade kvalitén som redovisas i 3.1.1.1 respektive 3.1.1.2 och är hämtad från Skanska AB vid stenbrottet i Dalby, Lunds kommun.

Receptet som används vid experimentet gjordes med hjälp av följande siktprotokoll som hämtades från stembrytaren, se Tabell 7.

Tabell 7: Siktprotokoll.⁷⁸

Sikt (mm)	Passerar (%)				
	Filler (<0,063)	0-2 mm	2-4 mm	4-8 mm	8-11 mm
16,0	100	100	100	100	100
11,0	100	100	100	100	86
8,0	100	100	100	92	11,5
4,0	100	95	70	9	0
2,0	100	79,2	7,5	0,4	0
0,5	100	39,3	0	0	0
0,063	60	12,5	0	0	0

Vid tillverkning av provkropparna skapades först ett recept utifrån de olika fraktionernas siktkurvor. Därefter, för att uppnå rätt sammansättning som Trafikverket listar i styrdokument⁷⁹ matades de olika procentsatserna in för de olika fraktionerna i ett förberett program. När differensen mellan siktkurvan för receptet ligger mellan Trafikverkets kravgränser kan receptet anta den benämning som receptet åsyftar. I detta fall ABD11 respektive ABS11.

⁷⁸ Ebrahim Parhamifar. Siktprotokoll för stenmaterial från Skanska AB vid stembrottet i Dalby, Lunds kommun. *Lunds Tekniska Högskola*. 2024.

⁷⁹ Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager VI*. 1991.

3.2.1.1 ABD11 70/100

Kornkurvan i Figur 7 efterliknades och hamnar inom tolererade gränsvärden genom att anta procentsatserna, se Tabell 8.

Tabell 8: ABD11-recept.

Total sats: 7 kg	Andel (vikt-%)	Massa (g)
Bitumen	5.2	364
Filler	5	332
0-2	8	531
2-4	5	332
4-8	16	1062
8-11	66	4380
Summa: 7000	100%	7000

ABD tillverkades under två tillfällen, 2024-03-26 samt 2024-03-27. Detta för att kapaciteten och tillverkningshastigheten inte tillät tillverkning under en dag för mängden provkroppar som experimentet krävde.

3.2.1.2 ABS11 70/100

Kornkurvan i Figur 8 efterliknas och hamnar inom tolererade gränsvärden genom att anta procentsatserna, se Tabell 9.

Tabell 9: ABS-recept.

Total sats: 7 kg	Andel (vikt-%)	Massa (g)
Bitumen	6.2	434
Filler	8	525
0-2	17	1116
2-4	6	394
4-8	12	788
8-11	57	3743
Summa: 7000	100%	7000

ABS tillverkades under två tillfällen, 2024-03-20 samt 2024-03-21. Detta för att kapaciteten och tillverkningshastigheten inte tillät tillverkning under en dag för mängden provkroppar som experimenten krävde.

3.2.2 Tillverkningsprocessen

I detta kapitel beskrivs kort vilka maskiner och metoder som använts vid tillverkning, vad de gör samt klargörande av olika tekniska parametrar. Tillverkningen och maskinerna som används följer i kronologisk ordning inom tillverkningsprocessen.

3.2.2.1 Materialuppvägning

Tillverkningsprocessen inleddes med uppvägning av stenmaterial från lagret. Stenmaterialet vägdes upp på en våg med hög precision och enligt receptens tilldelade vikt och placerades i tomma mindre kärl. Vågen nollställdes vid påläggning av form samt när ny kornfraktion lades på, se Figur 9, Figur 11 och Figur 11 för tillvägagångssätt.



Figur 9: Stenmaterial i fraktion 8-11mm till vänster och fraktion 4-8mm till höger.



Figur 10: Stenmaterial i fraktion 2-4 till vänster och i fraktion 0-2mm till höger.



Figur 11: Filler till vänster och stenmaterial som vägs till höger.

3.2.2.2 Förvärmning av material

Efter receptuppläggnen värmdes stenmaterialet och bitumen i ett värmeskåp, en Tenmarks drying oven, till temperaturen 150°C. Detta för att få stenmaterialet mer lättblandat med bitumen som är lättflytande vid denna temperatur samt bli av med eventuell fukt i stenmaterialet, se Figur 12.



Figur 12: Värmeskåp med recept samt burkar innehållandes bitumen.

3.2.2.3 Blandning

Blandning sker i en asfaltblandare Infratest labormischer 30l, se Figur 13. Mixern var förvärmad till 130°C innan stenmaterialets blandning påbörjades. Därefter vägdes bitumen till korrekt vikt och hölls sedan ner i mixern. Mixern blandade materialet i en medsols roterande rörelse, med blad som antingen ställs in till att blanda i en medsols eller motsols rörelse. För blandning av initialt endast stenmaterial användes bara medsols rörelser och blandningens tid var 120 sekunder. Därefter, vid inblandning av bitumen, blandades materialet inledningsvis medsols för att sedan vid cirka halva blandningstiden skifta rotationen till motsols. Tid för blandningsfasen med bitumen är 360 sekunder.



Figur 13: Asfaltsblandare.

3.2.2.4 Fördelning

Efter blandningen av stenmaterial och bitumen fördelades asfaltmassan i burkar, där massan motsvarar en asfaltkropp. Förvärmade burkar togs ut värmeskåp och nollställdes på vågen. Därefter fylldes respektive burk upp med asfaltmassa och vägdes. Toleransen för ansamlingens vikt valdes till 1150g-1250g per burk. Detta innebär att ca 5,3 asfaltprovkroppar kunde tillverkas vid varje blandning om 7kg. Burkarna med asfalt sattes in i värmeskåpen för att bibehålla temperaturen innan kompaktering av marshallprovkroppar.

3.2.2.5 Uppläggning

Därefter togs asfaltprovkroppssformer från värmeskåpen. Dessa former är i mått av internationell standard⁸⁰, 102mm \varnothing samt har en standardhöjd på 60-75mm. Sedermera placerades de olika komponenterna för formsättning ut och smörjdes med CRC 5-56. Detta för att provkroppen inte skulle fastna varken i

⁸⁰ Trafikverket. *Asfaltbeläggning och massa: Bestämning av styhetsmodulen hos asfaltbetong genom pulserande pressdragsprovning*. FAS Metod 454-98. https://bransch.trafikverket.se/contentassets/5757e1e5ee8048ed8611d9c84c47829e/47_fas454-98.pdf (Hämtad 2024-04-04)

stampmaskinen eller i denna form. Komponenterna för provkroppsformerna sattes samman och asfaltmassa hälldes i formen se Figur 14. Ett filter lades mellan botten och toppen i provkroppsformen.



Figur 14: Bruk och form.

3.2.2.6 Kompaktering av Marshallprovkroppar

Kompaktering, även kallad stampning, som skall efterlikna en asfaltvälts förmåga att pressa samman och göra asfalten kompakt, användes för sammansättning av asfaltprovkroppen. Kompaktering sker i en Matest Asphalt Stamping machine B031, se Figur 15. Maskinen är utformad efter standarden ASTM D6926. Huvudoperationen sker med en vikt på 4.53kg som mekaniskt höjs 457mm upp och släpps sedan nedåt på asfalten i formen. Detta upprepades 50 gånger och sedan vändes provkroppen och fick ytterligare 50 slag från maskinen.



Figur 15: Matest B031.

3.2.2.7 Utpressning ur form

Därefter tilläts asfaltkroppen svalna en stund (ca 5–10 min) i rumstemperatur för att på ett säkrare och enklare sätt pressa ut den färdiga asfaltprovkroppen ur sin form med en uttryckare se Figur 16. Risken med en asfaltkropp som inte fått svalna är att den lätt faller sönder eftersom bituminet i asfaltprovkroppen fortfarande är mjukt.



Figur 16: Uttryckare.

3.3 Lagring och provning

Asfaltprovkropparna placerades i plastlådor med nio provkroppar i varje låda, se Figur 17. De olika lådorna skiljde lagringsförhållanden åt.



Figur 17: Asfaltprovkroppar färdigtillverkade och upplagda för lagring.

Alla provkroppar lades i ett mönster och märktes sedan upp vilken provkropp det var med benämning se Tabell 10. Alla provkroppar tilldelades ett specifikt namn. Till exempel benämns en saltlagrad ABS som SS3 (S=ABS, S=Saltlagrad, 3= tredje provkroppen).

Tabell 10: Lagringsuppdelning.

Prover	Referens	Luftlagrade	Vattenlagrade	Saltvattenlagrade
ABS	SLe (4st)	SL (9st)	SV (9st)	SS (9st)
ABD	DLe (4st)	DL (9st)	DV (9st)	DS (9st)

Alla asfaltprovkroppar lagrades inledningsvis med 6 dagar i endast luft för att tillverkningstiden för de 60 asfaltprovkropparna inte tillät göras på en och samma dag, utan 6 dagar mellan att första provkroppen var gjord till den sista.

3.3.1 Hålrums halt

Alla provkroppars hålrums halt bestämdes efter de fått individuella benämningar. För att bestämma hålrums halten krävs en seriemätning av vikt, skrymdensitet och kompaktdensitet.

$$H = 100 \cdot \frac{(A - B)}{A}$$

- H** **Hålrums halt (%)** – Provkroppens volym av luft i procent
- A** **Kompaktdensitet (g/cm³)** – Anger ett materials vikt (massa) dividerat med dess kompaktvoly, d.v.s. volym utan hålrum.
- B** **Skrymdensitet (g/cm³)** – Anger ett materials vikt (massa) dividerat med dess skrymdensitet, d.v.s. volym med ingående hålrum medräknade.

För bestämmandet av parametrarna i ekvationen och således erhållandet av hålrums halten, behövdes både provkroppens kompaktdensitet och skrymdensitet, varvid asfaltprovkroppen först vägdes torr. Sedermera vägdes asfaltprovkroppen i vatten, se Figur 18. Efter det plockades asfaltprovkroppen upp och torkades snabbt av med en mikrofiberduk för att ta bort överflödigt fukt. Därefter vägdes asfaltprovkroppen åter i luft.



Figur 18: Vägning av provkropp under vatten.

Alla tre vikter noteras i en tabell och därefter utförs följande ekvation.

$$B = \frac{m_1 \cdot C}{m_2 - m_3}$$

<i>B</i>	Skrymdensitet (g/cm³)
<i>C</i>	Vattnets densitet (0.998g/cm³ vid 20-25°C)
<i>m</i>₁	Asfaltkroppens torrsvikt (g)
<i>m</i>₂	Asfaltkroppens blötsvikt i luft (g)
<i>m</i>₃	Asfaltkroppens vikt i vatten (g)

För att bestämma kompaktdensiteten användes stenmaterial 8-11 vid beräkning. Först vägdes 400g av stenmaterialet i en behållare, torrt. Därefter vägdes stenmaterialet en nätkorg, placerad under vatten. Båda vikterna noterades och därefter utfördes följande ekvation.

$$KDS = \frac{m_4 \cdot C}{m_4 - m_5}$$

<i>KDS</i>	Kompaktdensitet stenmaterial (g/cm³)
<i>C</i>	Vattnets densitet (0.998g/cm³ vid 20-25°C)
<i>m</i>₄	Provets vikt i luft (g)
<i>m</i>₅	Provets vikt i vatten (g)

För att beräkna provkroppens kompaktdensitet användes följande ekvation

$$A = \frac{1}{\left(\frac{P_b}{D_b}\right) + \left(\frac{P_s}{KDS}\right)}$$

A	Provets kompaktdensitet (g/cm³)
P_b	Andel bindemedel (%/100)
D_b	Densitet bindemedel (g/cm³)⁸¹
P_s	Andel stenmaterial (1- P_b) (%/100)
KDS	Kompaktdensitet stenmaterial (g/cm³)

När väl all vägning och bestämmandet av hålrumshalten var klar påbörjades lagringen i de olika lagringsmedierna, se Figur 19.



Figur 19: Asfaltprovkroppar i respektive lagringsmedium.

⁸¹ E. Parhamifar. *Vägen till vägen, laborationshandledning 2024*. Lunds Tekniska Högskola. Lund. 2024. s 83.

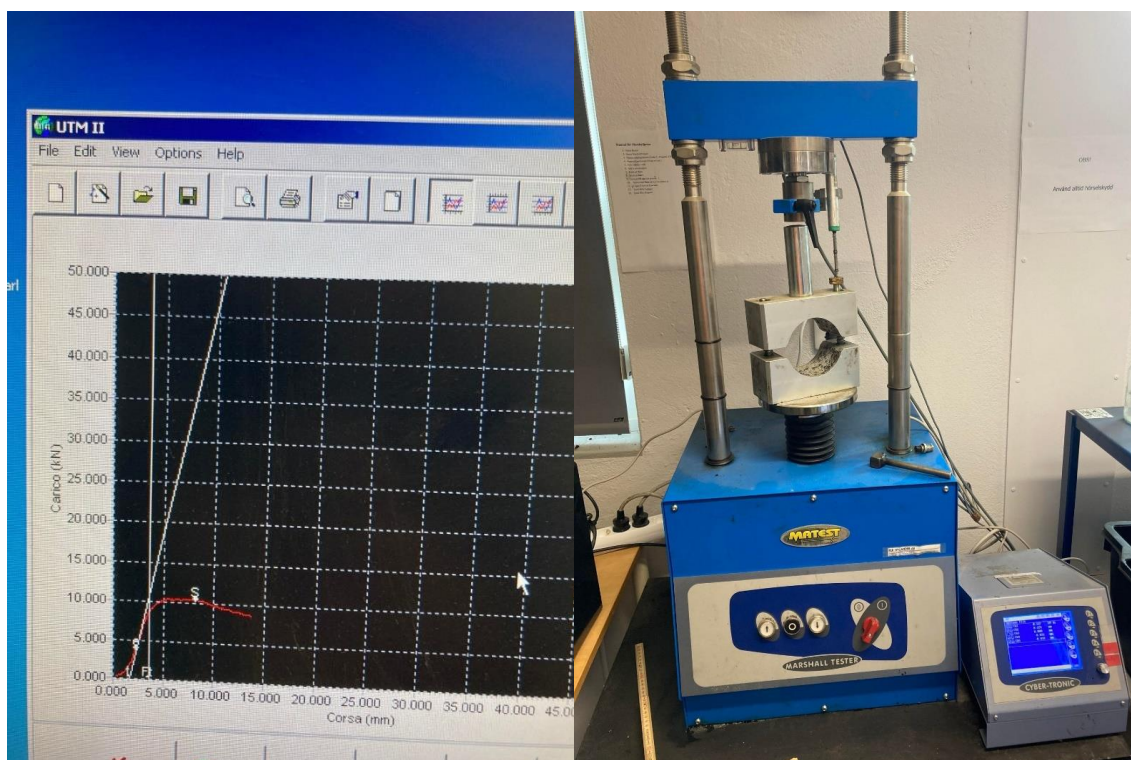
3.3.2 Marshallstabilitet

Marshallstabilitet mäts i en Marshallpress som är en maskin som mäter hur mycket en asfaltprovkropp deformeras (mm) mot en kraft (kN). På så sätt kan asfaltens hårdhet bestämmas.

Vid test förvärmades asfaltprovkropparna i vatten med en värme på 40°C i ca 30 minuter till en timme för att göra asfaltprovkroppen lite mjukare och få en deformation i marshallpressen som inte skadar utrustning eller är en fara vid experimentet. Normalt vid Marshallstabilitetstest förvärms asfaltprovkroppar till 60°C enligt internationell standard⁸², men vid detta experiment används 40°C efter samtal med sakkunniga experter då resultatet annars kan bli mer svårtolkat eftersom bitumen 70/100 har en mjukpunkt om 43-51°C.

Marshallstabiliteten testades för att ta reda på den maximala lasten provkroppen kan utsättas för innan deformationen övergår från elastisk till plastisk deformation. Marshallpressen som användes vid testerna är en Matest marshallpress, se Figur 20. Insamling av data gjordes med hjälp av en dator som parkopplats med Marshallpressen. Datorn noterade alla uppmätta värden i Marshallpressen och skrev ut data direkt i en graf där x-axeln visade deformation (mm) och y-axeln visade kraften (kN), se Figur 20. Därefter sparades all data och jämfördes i uppritade grafer. Dessutom beräknades medelvärden och standardavvikelsen för toppkraften, elastiska kraften samt kraft/deformation.

⁸² Farhan Khan. "Marshall Stability Test". *ConstructionHow*. Senast uppdaterad 11 juni, 2021. Hämtad 22 maj, 2024. <https://constructionhow.com/marshall-stability-test/>



Figur 20: Datormjukvara till vänster och marshallstabilitetspress till höger.

4 Resultat och diskussion

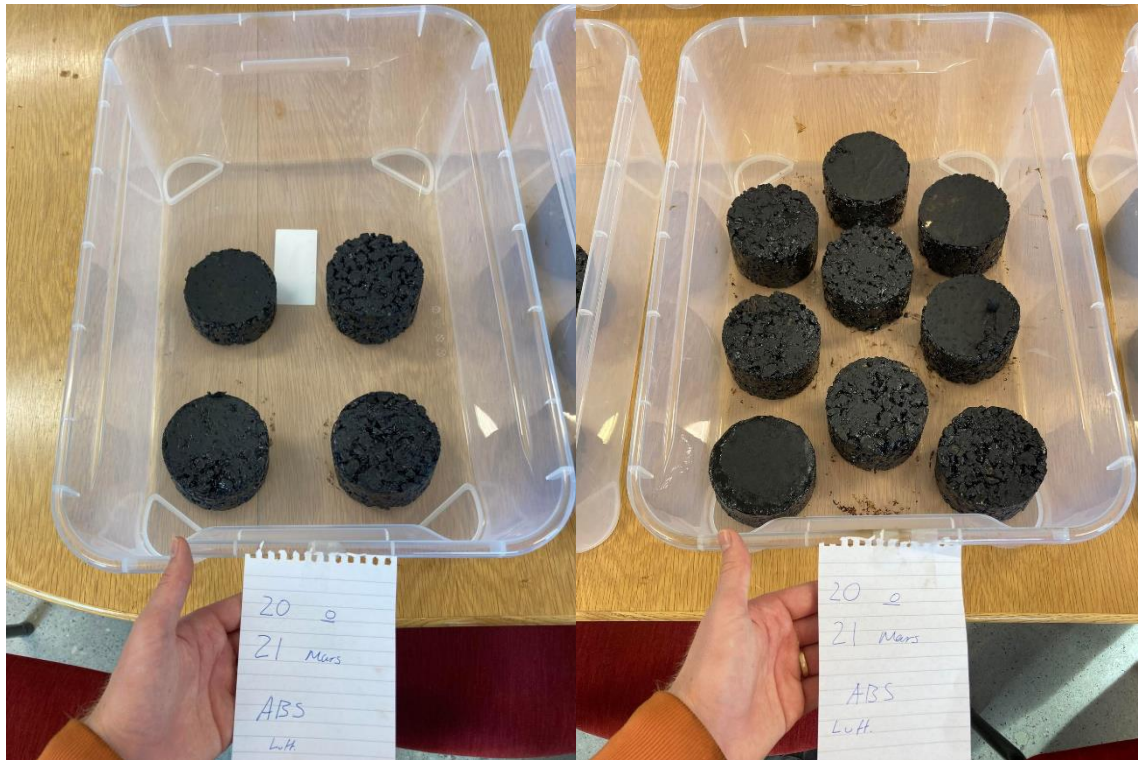
Detta kapitel presenteras resultatet i flera olika aspekter, diskussion förs om varför resultaten ser ut som de gör samt relevanta felkällor adresseras för det experiment som genomförts.

4.1 Okulära observationer

Inför varje testtillfälle i Mashallpressen togs foton över hur utvecklingen okulärt gestaltas i respektive kärl. I denna del presenteras foton med diskussion kring utvecklingen. Observerat att ljuset som bilderna är tagna i varierar och kan i vissa fall antyda till en större skillnad än var verkligheten egentligen angav. Däremot går det fortfarande att jämföra provkropparnas skepnad emellan.

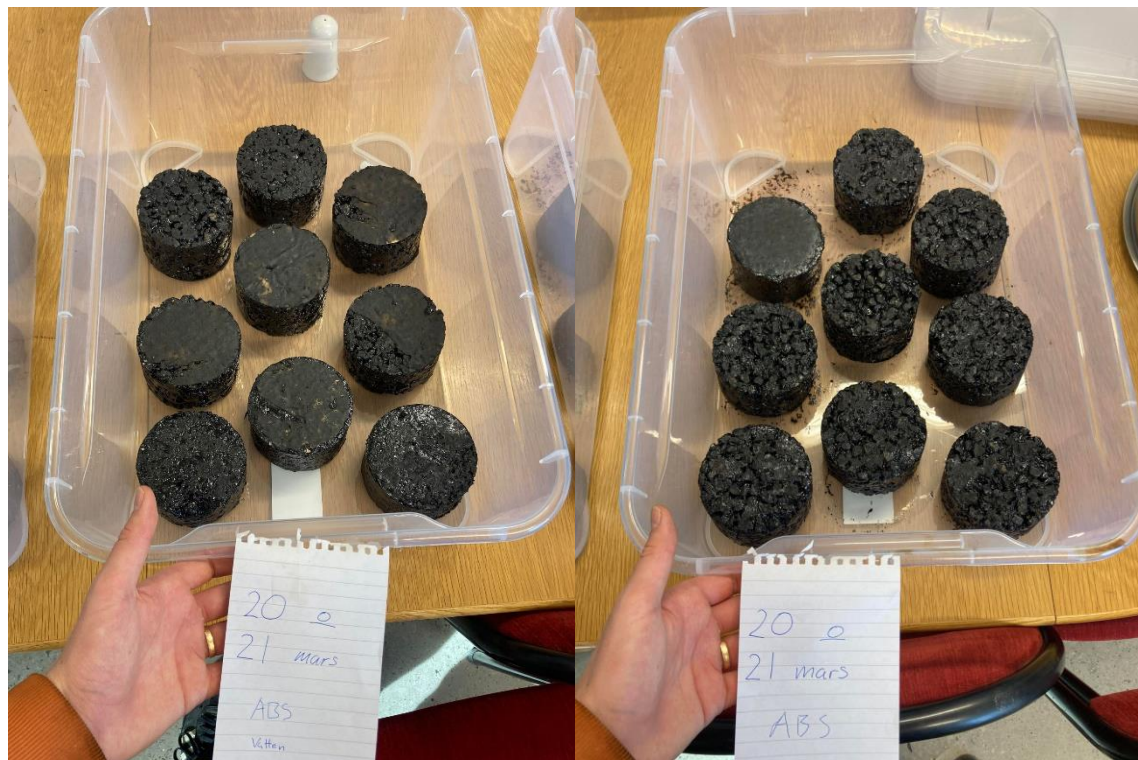
4.1.1 Referensobservation

En referensobeservation gjordes i samband med att alla provkroppar var tillverkade. Ingen såg varken åldrad ut eller har oxiderat något nämnvärt, se Figur 21, Figur 22, Figur 23 och Figur 24 nedan. I vissa fall kan ytan tyckas vara mycket slät vilket beror på att filtret som applicerats vid 3.2.2.5 Uppläggning, inte gått att enkelt riva av efter tillverkning. Mer om detta tas upp i 4.4 Felkällor vid genomförande.



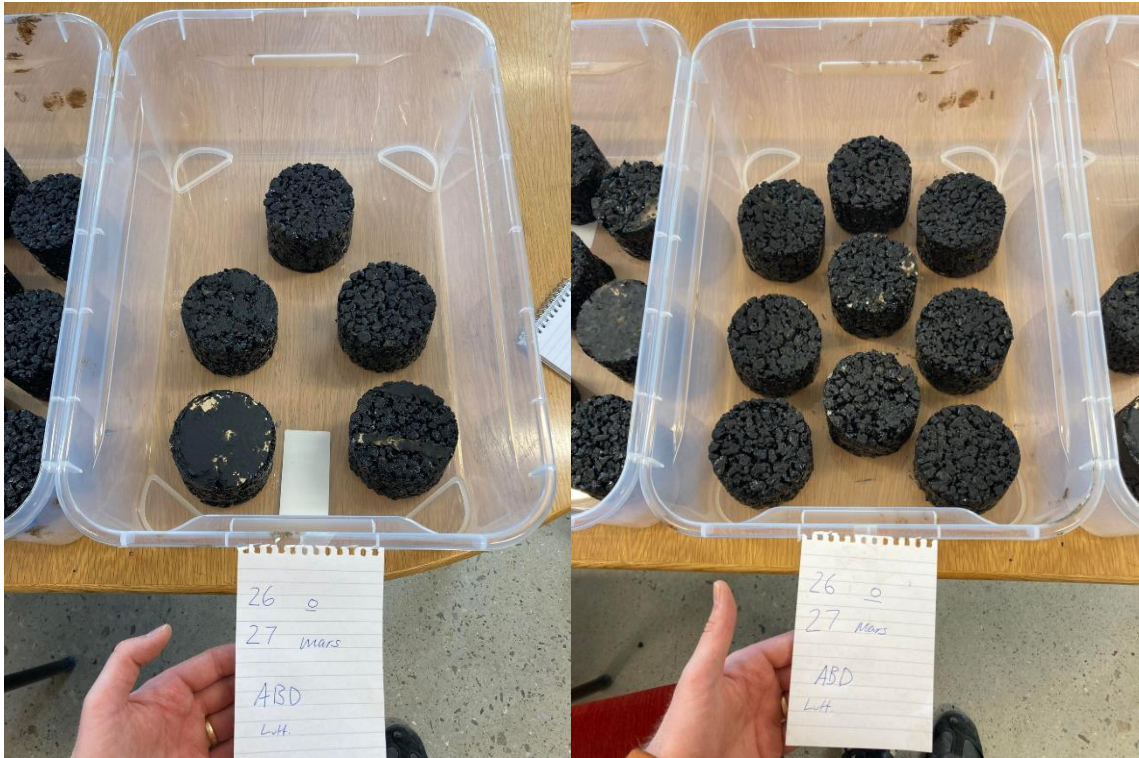
Figur 21: SLe (ABS11, Referenser) och SL (ABS11, Luftlagrade)

Tillverkade 20 och 21 mars.



Figur 22: SV (ABS11, Vattenlagrade) och SS (ABS11, Saltvattenlagrade)

Tillverkade 20 och 21 mars.



Figur 23: DLe (ABD11, Referenser) och DL (ABD11, Luftlagrade)

Tillverkade 26 och 27 mars.



Figur 24: DV (ABD, Vattenlagrade) och DS (ABD, Saltvattenlagrade)

Tillverkade 26 och 27 mars.

4.1.2 Vid 6 dygns lagring

4.1.2.1 Luftlagrade prover

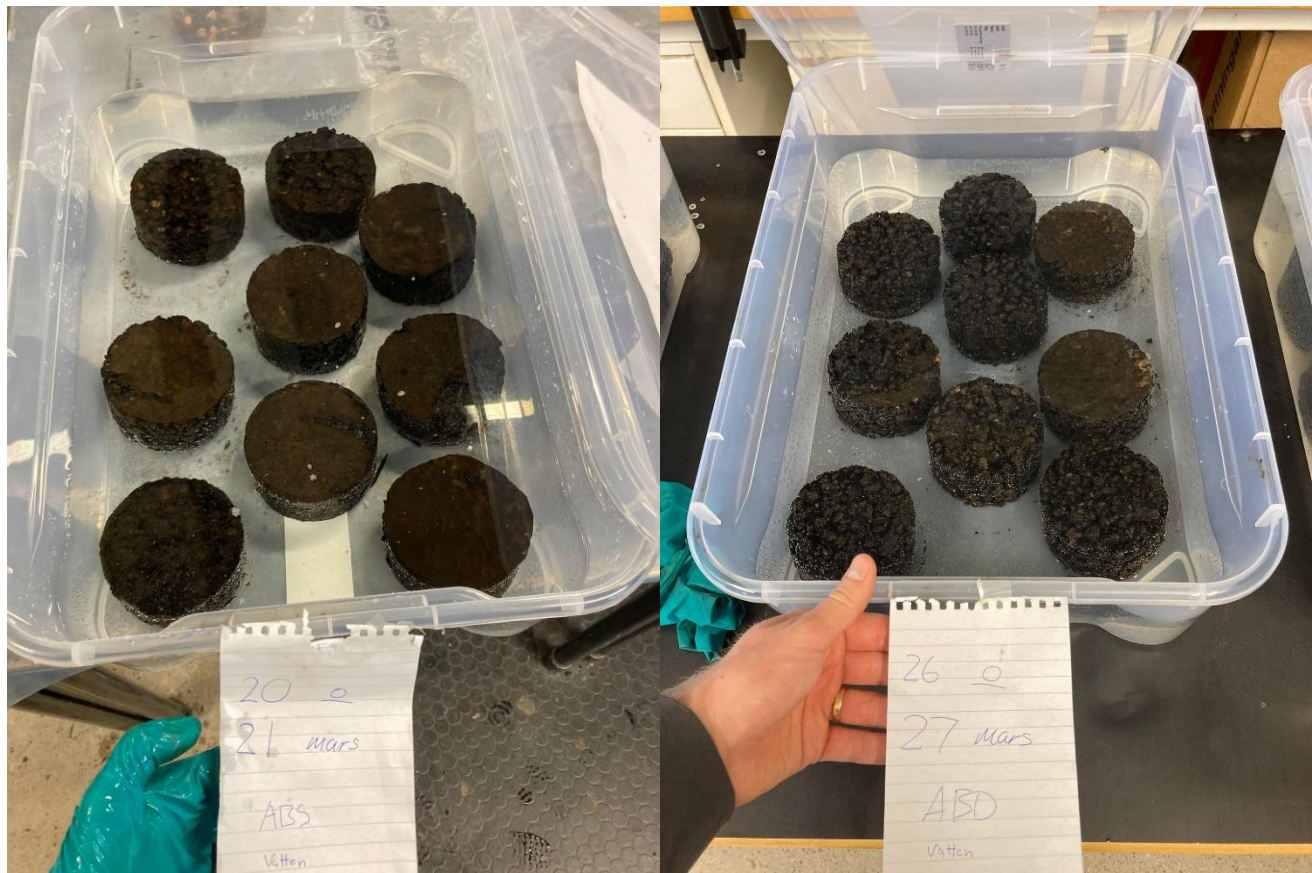
Efter 6 dygn hade redan den luftlagrade asfalten börjat oxidera och frigöra kolväten vilket kan ses på färgen hos asfaltkropparna. Redan här hade asfalten börjat få en något gråare ton i sin skepnad. Dessutom noterades ett os av asfalt när lådan med de luftlagrade asfaltprovkropparna öppnades, se Figur 25.



Figur 25: ABS till vänster och ABD till höger.

4.1.2.2 Vattenlagrade prover

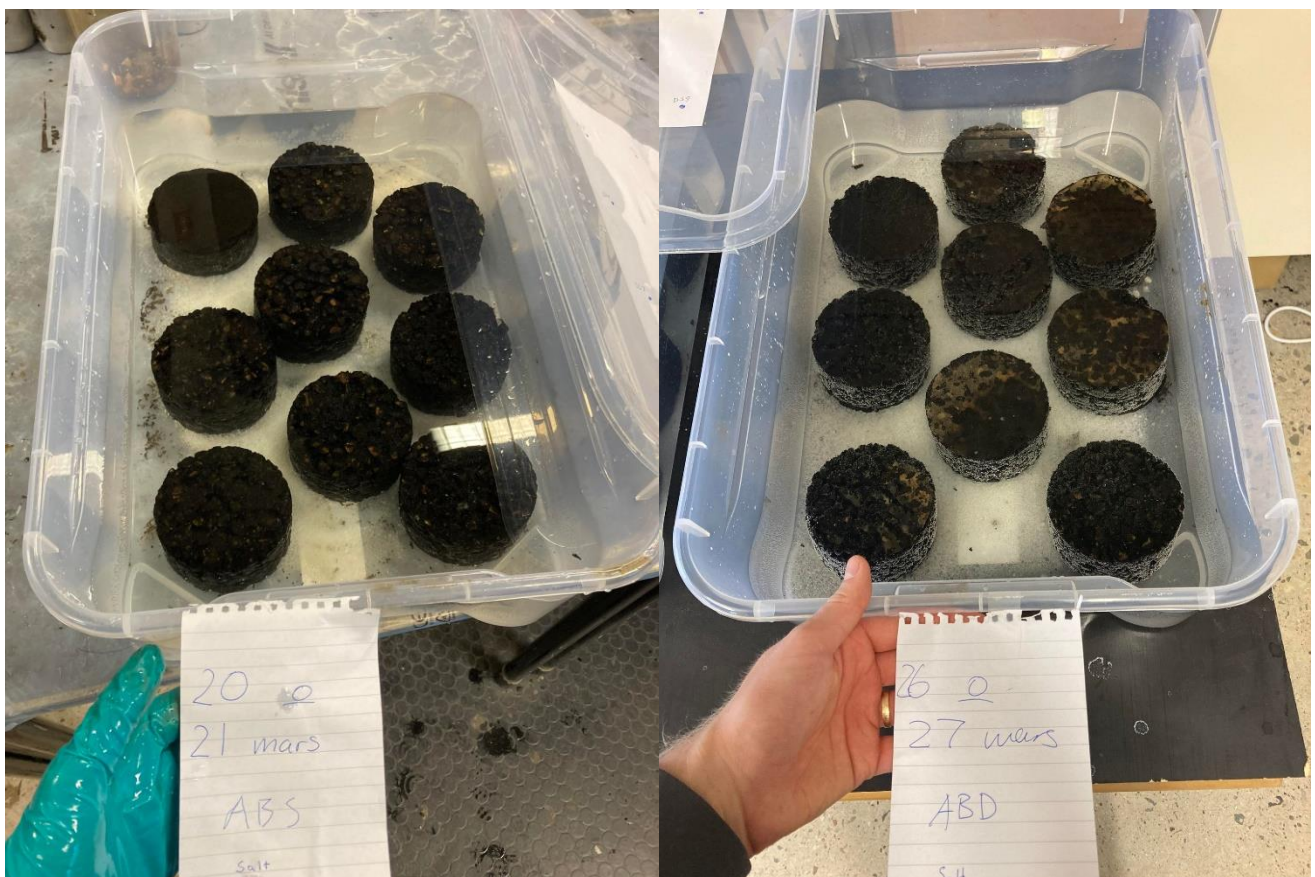
När det kommer till de vattenlagrade proverna syntes vid observation små luftbubblor kring asfaltprovkropparna, ABD verkade erhålla en större mängd luftbubblor. Till skillnad mot de luftlagrade provkropparna kändes inget os när locken till kärnen öppnades. Vattnet i ABS-kärlet såg ut att ha fått en något brunare färg än i ABD-kärlet. Anledningen är oklar, se Figur 26.



Figur 26: ABS till vänster och ABD till höger.

4.1.2.3 Saltvattenlagrade prover

De saltvattenlagrade asfaltprovkropparna såg vid observation ut att ha en skillnad i hur de beter sig i saltlösningen. Till skillnad mot de luftlagrade asfaltproverna kändes inget os av asfalt när locket på respektive kärl öppnades. Efter 6 dygns lagringstid var saltet ännu inte helt löst än i vattnet. ABD-proverna har många små luftbubblor kring sin kropp. Proverna hade även fler luftbubblor än de vattenlagrade proverna. ABS-proverna tycktes ha ytterst få luftbubblor om några alls. Anledningen är oklar. Se Figur 27.



Figur 27: ABS till vänster och ABD till höger.

4.1.3 Vid 14 dygns lagring

4.1.3.1 Luftlagrade prover

Efter luftlagring i 14 dygn tycktes inte mycket ha hänt med de luftlagrade proverna annat än att de blivit mer matta i sin färg, se Figur 28. Likaså här kändes ett starkt os av asfalt när locken på respektive luftlagrade kärl öppnats. Att döma av oset verkar det ständigt pågå avdunstningen av VOC för asfalten. De provkroppar som är deformerade eller sönderfallna är testade i Marshallpressen.



Figur 28: ABS till vänster och ABD till höger.

4.1.3.2 Vattenlagrade prover

Efter 14 dygn lagrade i vatten var alla provkroppar nästan bubbelfria och ABS-proverna såg betydligt brunare ut än ABD-proverna. Anledning är oklar. Återigen kändes inget os när kärlets lock öppnades. Inga eller synnerligen få luftbubblor fanns på något prov, se Figur 29.



Figur 29: ABS till vänster och ABD till höger.

4.1.3.3 Saltvattenlagrade prover

Samtliga saltvattenlagrade prover uppvisade efter 14 dygn små luftbubblor runt om dess kropp. Saltet var ännu inte helt löst i vattnet. ABS-proverna tycktes uppvisa en något mindre mängd bubblor samtidigt som vattnet i dess kärl tycktes se brunare ut, se Figur 30.



Figur 30: ABS till vänster och ABD till höger.

4.1.4 Vid 28 dygns lagring

4.1.4.1 Luftlagrade prover

Efter 28 dygn såg asfaltprovkropparna båda matta och grå ut. Denna gång kändes det starkaste oset av asfalt jämfört med tidigare observationer från båda kärlen, se Figur 31.



Figur 31: ABS till vänster och ABD till höger.

4.1.4.2 Vattenlagrade prover

Efter 28 dygn i respektive vattenkärll uppvisade båda asfalttyperna en ännu brunare yta och vatten än de kärll som innehållit saltlösning. Inbördes skillnad fanns också i att ABS-proverna hade en ännu brunare färg än ABD-proverna. Inga luftbubblor syntes på något prov, se Figur 32.



Figur 32: ABS till vänster och ABD till höger.

4.1.4.3 Saltvattenlagrade prover

Efter lagring i saltlösning i 28 dygn hade saltet löst sig helt i vattnet. Det syntes fortfarande luftbubblor på ABD-proverna men fanns inte på ABS-proverna. ABS-provernas vatten tycktes ha fått en brunare färg, medan ABD-proverna fortfarande hade klart ganska vatten. Vid jämförelse mot de vattenlagrade asfaltprovkropparna har de som lagrats i saltvatten behållit sin svarta färg mycket bättre, se Figur 33.



Figur 33: ABS till vänster och ABD till höger.

4.2 Datainsamling och beräkningar

Detta kapitel handlar om hur asfaltprovkropparna tekniskt har presterat. Diskussion tillkommer kring siffrorna och eventuella felkällor som påverkar resultatet följer kort. Fördjupning i felkällor följer i kapitel 4.4 Felkällor vid genomförande

Alla mätvärden jämfördes för att finna samband och eventuella avvikelser. Parametrarna torrsvikt, vattenlagrad våtvtikt, våtvtikt, bindemedelshalt, skrymdensitet, kompaktensitet, hålrumshalt, lagringstid, tjocklek, elastisk kraft (kN), elastisk deformation (mm), kraft (kN)/deformation (mm) och toppkraft (kN) matades in för varje asfaltprovkropp. Utöver detta ritades diagram för varje individuell provkroppens testtillfälle. Vidare beräknades medelvärden för alla provkroppars marshallstabilitet (kraft- och deformationsgrafer).

Observera att en större felkälla förekom vid referenstesterna. Läs mer om denna i 4.4.3.1 Vattenbad. Det förekom även felkällor vid SL9, DV6 och DS4 som är likadana i karaktär, dessa uteslöts därför helt ur all data och alla figurer eftersom de inte representerar en rimlig kurva. Mer om detta finns att läsa i kapitlet om felkällor, 4.4.3.2 Marshallpress och dator.

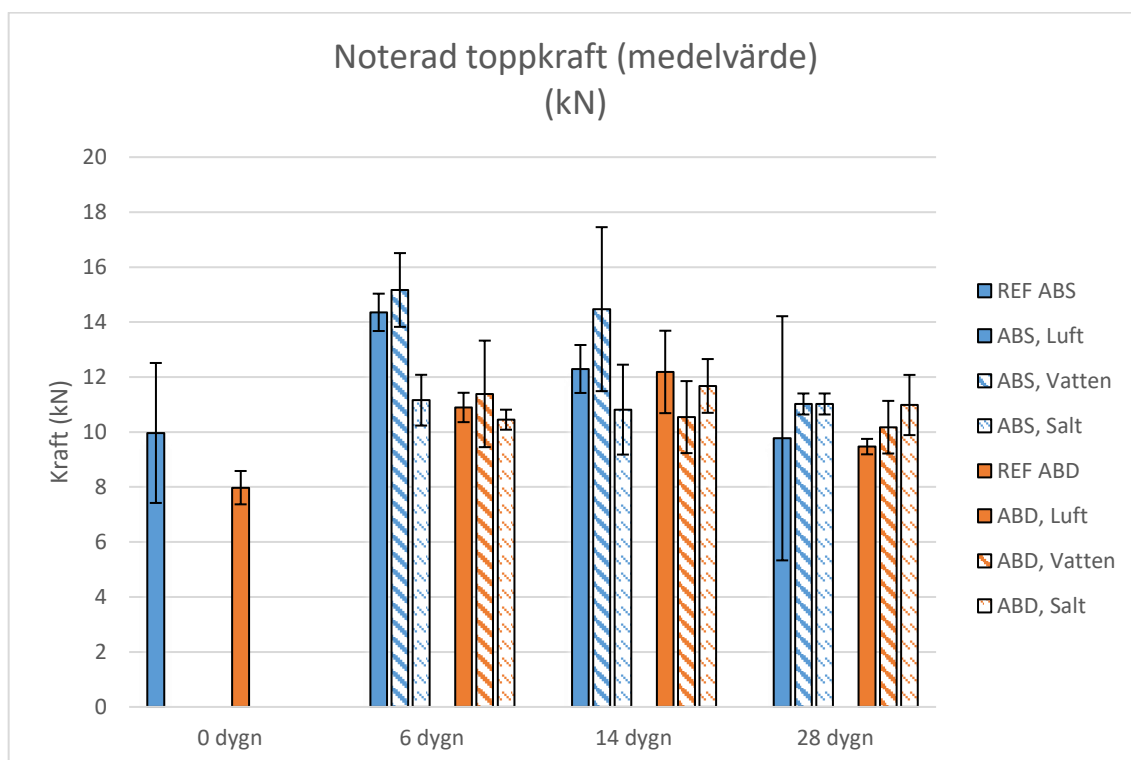
Andra felkällor som kan ha eller har förekommit vid tillverkning läses också i kapitlet 4.4 Felkällor vid genomförande.

4.2.1 Analys av krafter och deformation

Detta kapitel jämför i detalj de uppmätta och beräknade värden som noterats i samband med genomförandet av experimentet samt i ett försök kunna dra slutsatser utifrån de värden som går att mäta hos asfaltprovkroppen.

4.2.1.1 Toppkraft

Toppkraften noterades för samtliga tester och är den maximala kraft som respektive prov har utifrån Marshallprovningen. Medelvärdet beräknades för respektive lagringstid och presenteras i Figur 34.



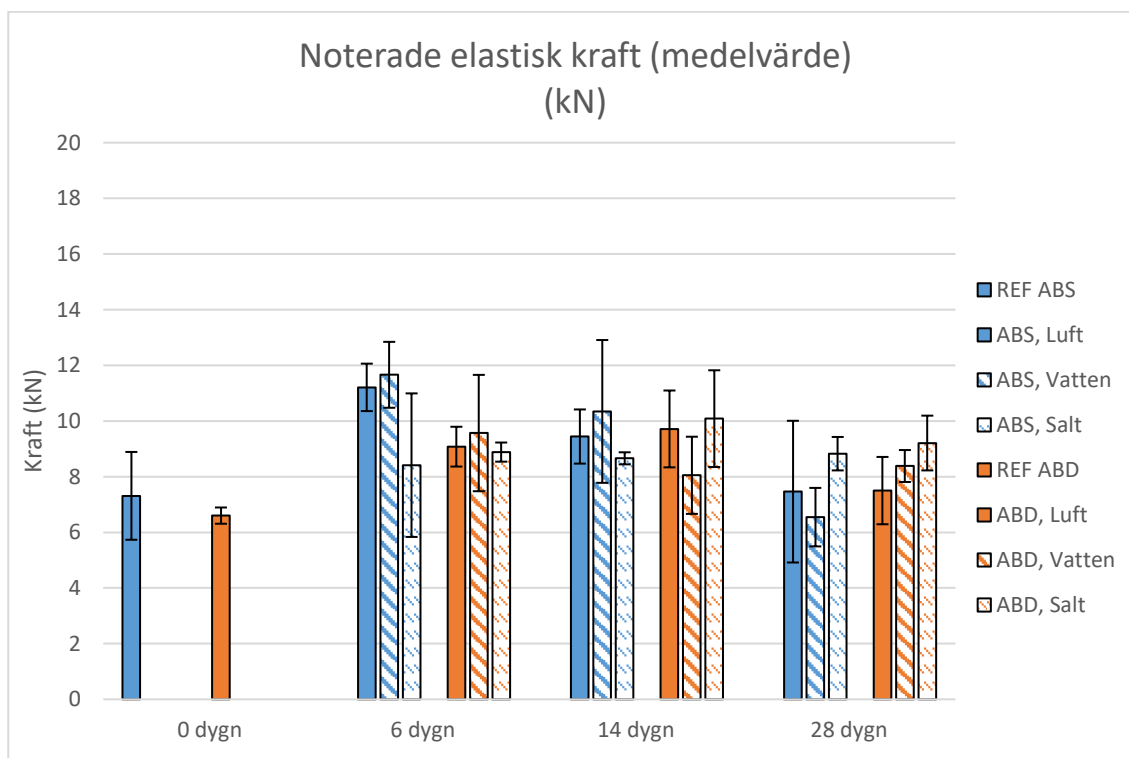
Figur 34: Noterad toppkraft efter lagringstid. Felstaplarna markerar den beräknade standardavvikelsen.

Vid analys av toppkraften syns att ABS verkar avta med lagringstiden för de luft- och vattenlagrade proverna medan toppkraften för samtliga ABD-prover håller sig på en någorlunda konsekvent nivå genom hela testet. Visserligen överlappar de flesta av standardavvikelsena för ABS men i det stora hela påvisar testerna att de luft och vattenlagrade ABS-proverna visar sig möjligen tåla påfrestningen sämre än dess saltlagrade motsvarighet över tid.

En annan observation är att ABD-proverna noterar en snarlik toppkraft när det kommer till de olika lagringsförhållanden som de utsatts för. ABD-proverna hamnar alla, oavsett förhållande, på runt 11 kN som noterad toppkraft.

4.2.1.2 Elastisk kraft

Den elastiska kraften som noterats är framtaget genom att i detalj studera den elastisk-plastiska punkten i varje kurva som de olika provkropparna uppvisat. Även deformationen vid denna punkt är noterad och samband mellan dessa parameter presenteras i nästa del 4.2.1.3 Kraft / deformation. Metodiken för att ta fram denna punkt var att försöka passa in en linjal till kurvan och sedan se var den elastisk-plastiska punkten var. Resultaten jämförs över tid och presenteras i Figur 35.



Figur 35: Noterad elastisk kraft efter tid. Felstaplarna markerar den beräknade standardavvikelsen.

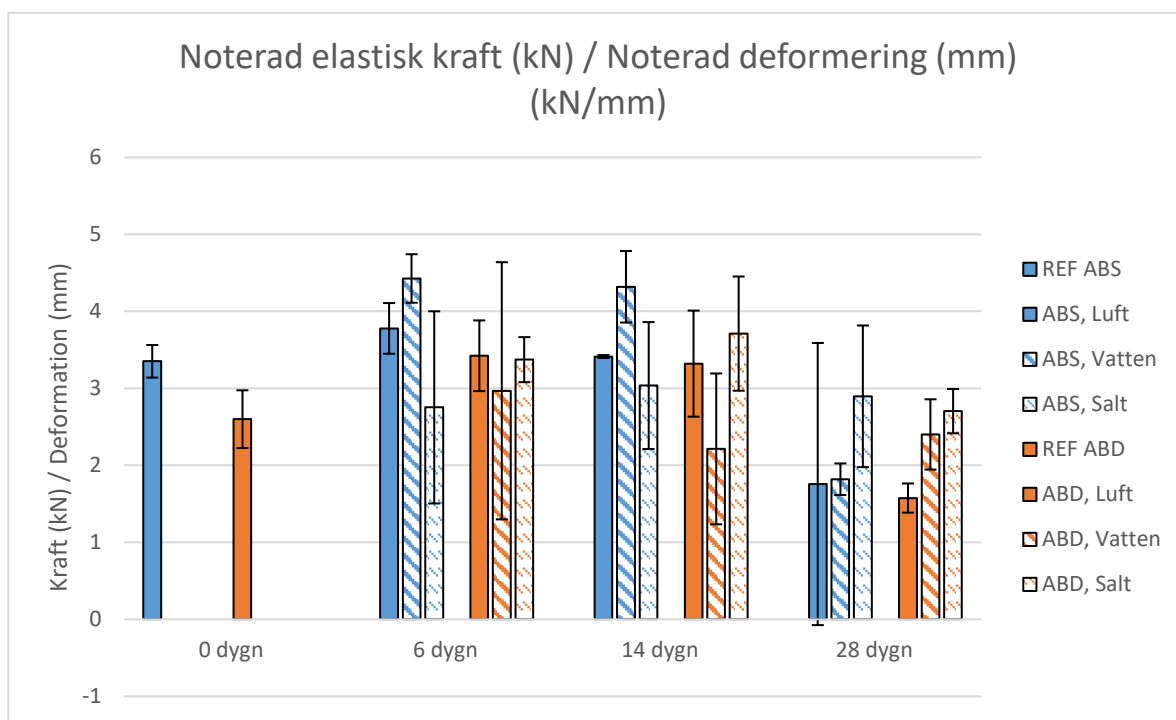
Resultaten med den elastiska toppkraften varierar lite mer än toppkraften. En tydlig nedgång i noterad elastisk kraft hos ABS-proverna som lagrats i luft och vatten syns. Förvånande är provernas mycket försämrade resultat i luft. Som tidigare nämnt har proverna som lagrats i luft varit lagrade i plastkärn med lock. Detta har stängt inne det mesta av de avdunstande lättflyktiga organiska föreningarna som asfaltprovkroppen avger. Möjligen har asfaltprovkroppen blivit mer påfrestad med en lägre syrehalt i plastkärnen. Att jämföra med de okulära observationerna faller det endast samman att provkropparna fått en gråare ton samt att det vid öppning av lock osat asfalt. ABD-proverna visar ett mycket snarlikt resultat efter 14 och 28 dygn lagrat i luft som ABS-proverna. Båda tycks ha ungefär samma medelvärden för samma tidsintervall.

De vattenlagrade proverna å andra sidan påvisar stora skillnader mellan ABS- och ABD-proverna. ABS-proverna tycks arta sig i en nedåtgående trend, sett till endast medelvärdet, medan ABD-proverna förhåller sig på en relativt konsekvent nivå. ABS-proverna påvisades i den okulära analysen som brunare i samtliga jämförelser. Anledningen är oklar och känns förhållandevis paradoxal då hålrumshalten hos ABD tillåter vatten att tränga in i asfaltprovkroppen och bör då ha möjlighet att påverka provkroppen inifrån, resultaten visar dock något annat som möjligen kräver fördjupad forskning. Det är möjligt att någon provkropp kan avvika i kvalitet och på så vis vara den stora anledningen till att vattnet påvisade en brunare färg.

En annan intressant aspekt som bör lyftas utifrån grafen är att de saltlagrade asfaltprovkropparna till en början uppvisar en lägre elastisk kraft än sina motsvarande luft och vattenlagrade prover för att sedan efter tid hålla sig mer beständiga och slutligen visa högre elastisk kraft än sina motsvariga luft och vattenlagrade prover.

4.2.1.3 Kraft / deformation

I ett försök att göra stabiliteten mer jämförbar infördes parametern ”Noterad elastisk kraft (kN) / Noterad deformering (mm)” där de den noterade elastiska kraften dividerades med deformationen i den elastisk-plastiska punkten. Figuren påminner starkt om föregående figurer i både 4.2.1.1 Toppkraft och 4.2.1.2 Elastisk kraft, men har några skillnader, se Figur 36.



Figur 36: Noterad elastisk kraft (kN) / Noterad deformering (mm) efter lagringstid. Felstaplarna markerar den beräknade standardavvikelsen.

De stora stabilitetsförlusterna för ABS-proverna i luft respektive vatten tycks ske någonstans mellan 14 och 28 dygn, medan de saltlagrade proverna förhåller sig på en snarlik nivå med en snarlik standardavvikelse också. Å andra sidan, för ABD-proverna, tycks den stora förändringen för luft ske mellan 14 och 28 dygn, för vatten mellan 6 och 14 dygn samt för salt som verkar ha största skillnaden mellan 14 och 28 dygn.

I okulärbesiktningarna syntes att de saltvattenlagrade proverna hade små luftbubblor kring sig, vilket möjligen kan ha en koppling till det fysikaliska fenomenet osmos⁸³. Osmos fungerar på så sätt att det saltvatten som omger ett halvgenomträngligt membran vill hamna i en jämvikt med den fukt som finns inuti det halvgenomträngliga membranet. Eftersom vattnet på utsidan av membranet innehåller en högre saltkoncentration än vattnet på insidan av membranet transporteras det vatten eller den fukt som finns på insidan av

⁸³ Britannica. "Osmosis". *Encyclopaedia Britannica*. Senast uppdaterad 9 maj, 2024. Hämtad 22 maj, 2024. <https://www.britannica.com/science/osmosis>

membranet till utsidan. Insidan av asfaltprovkroppen innehåller då mindre fukt och vidhäftningen blir bättre med mindre fukt i asfalten.

4.2.1.4 Inverkan av olika parametrar

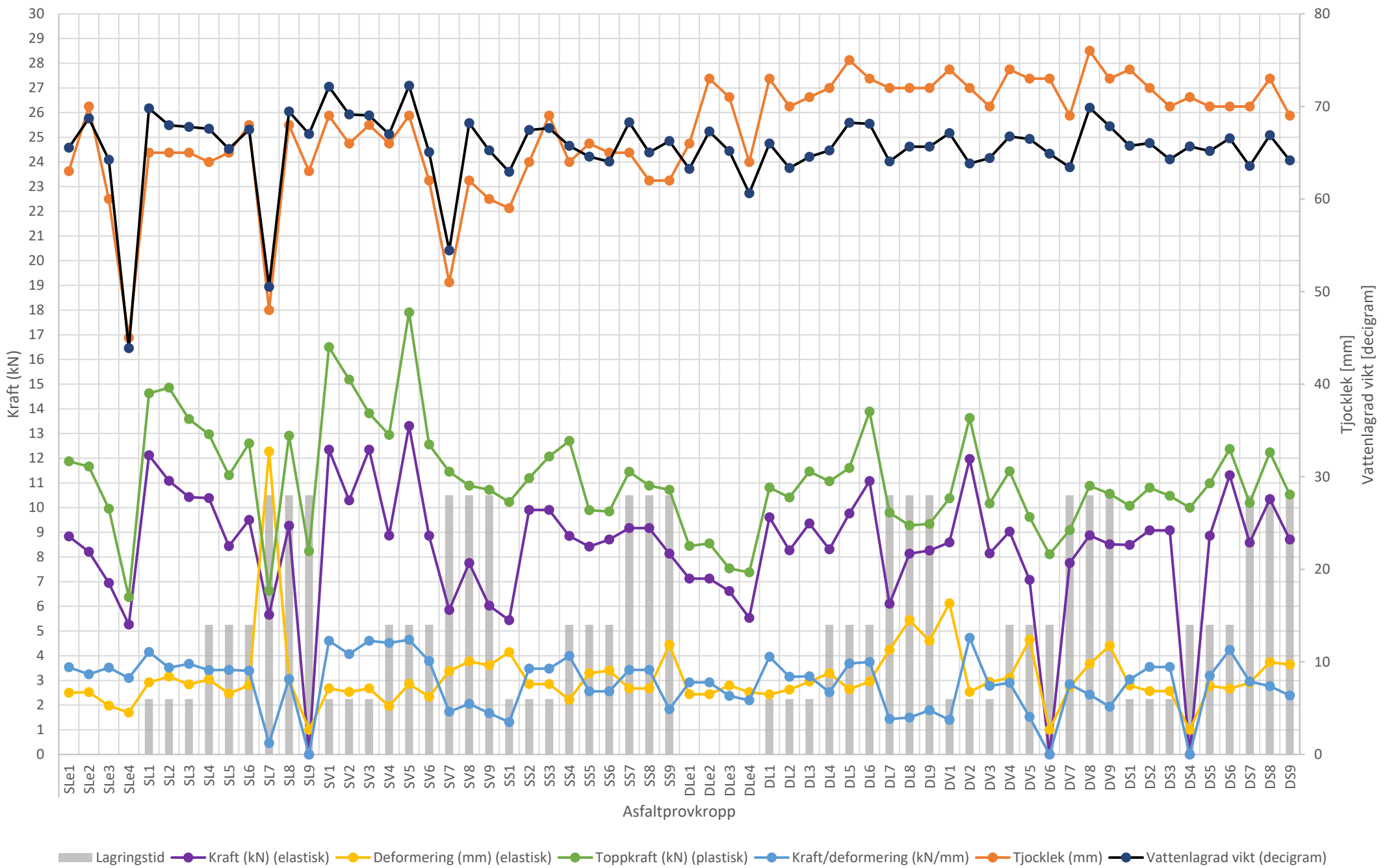
I ett försök att sammankoppla orsaker till de olika parametrarna ritades en figur upp med flera olika parameter för att få undersöka hur asfaltprovkropparna beter sig mot de olika noterade värdena, se Figur 37. De värden som används i Figur 37 som används syns i Tabell 11.

Tabell 11: Parameter och anledning till införandet.

Parameter	Motivering
Lagringstid (dygn)	Bör spela stor roll för provkroppens Marshallstabilitet och resultat.
Elastisk kraft (kN)	Är ett bra mått på provkroppens stabilitet.
Elastisk deformation (mm)	Är ett bra mått på provkroppens stabilitet.
Toppkraft (kN)	Är ett bra komplement till bedömning av provkroppens stabilitet.
Kraft/deformation (kN/mm)	Är ett komplement och mer balanserat mått på provkroppens stabilitet.
Tjocklek (mm)*	Kan möjligen bestämma en del av stabiliteten.
Vattenlagrad våtvikt (g)**	Kan möjligen bestämma en del av stabiliteten.

* Asfaltprovkroppens cylindriska höjd.

** Asfaltprovkroppen vikt i nätkorg under vatten.



Figur 37: Samband mellan olika parametrar, asfalttyp och lagringsförhållande.

Figuren är ritad för att få ett mer lättolkat resultat och de inbördes strecken mellan punkterna har inget samband, sträcken är där för att på ett enklare sätt se samband mellan de olika parametrarna.

Utifrån figuren kan det konstateras att asfaltprovkropparnas tjocklek, vattenlagrade våtvikt, elastisk kraft och toppkraft följer varandra. Tjockleken och den vattenlagrade våtvikten är logiskt sammanfalla, eftersom mer stenmaterial bör innebära en högre asfaltprovkropp. Det verkar som om asfaltprovkroppar med en högre höjd eller tyngre asfaltprovkropp ofta klarar motstå en större kraft, frågan är vilken av parametrarna som är orsaken till korrelationen.

I många fall verkar kraft/deformering korrelera med den elastiska- och toppnoterade kraften, vilket är rimligt eftersom den elastiska kraften är en del av ekvationen för kraft/deformation. Därutöver finns en mindre men ändå något regelbundet samband mellan lagringstid och kraft/deformering i att längre lagringstid medför ofta en längre modul för kraft/deformering.

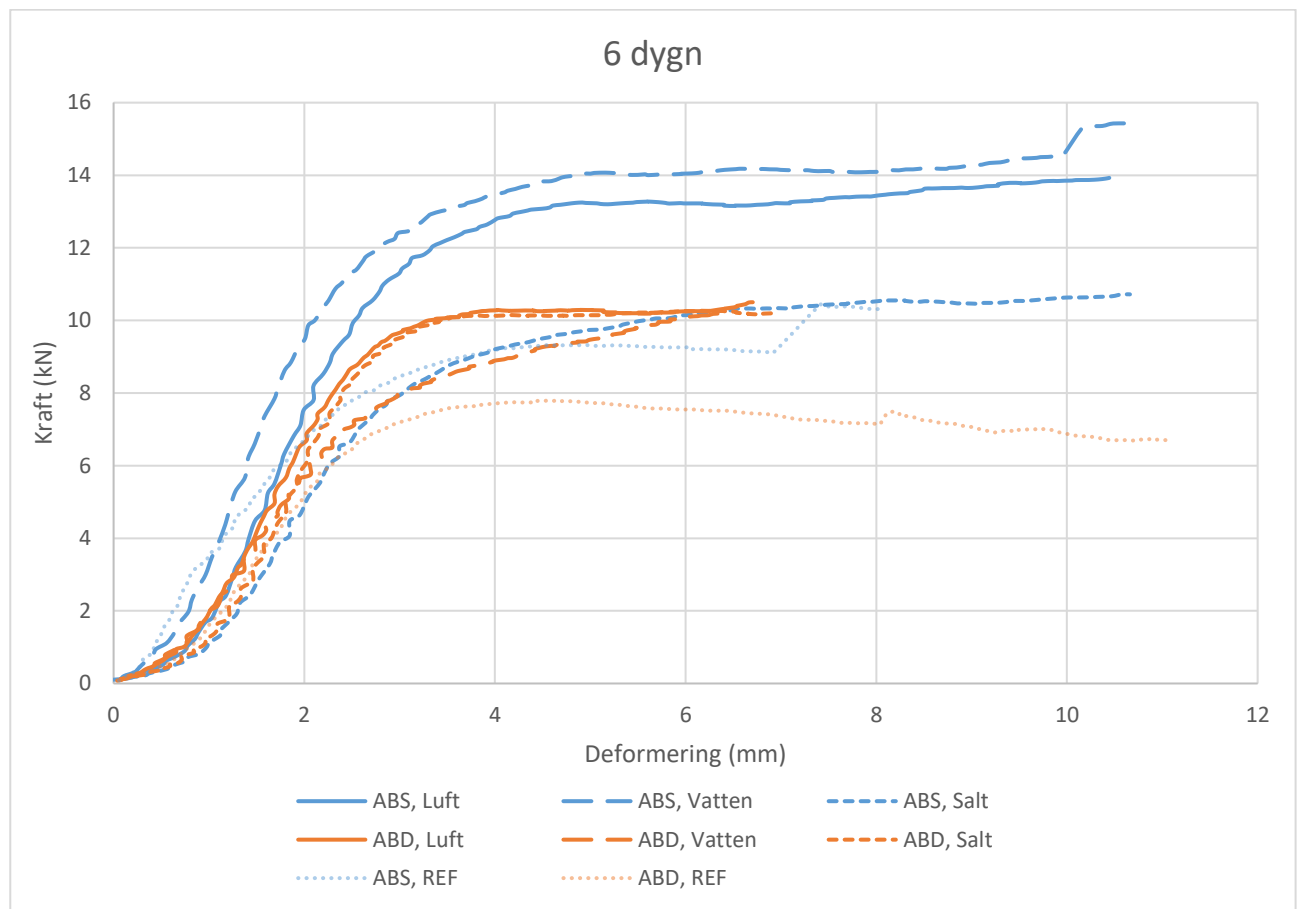
Summerat kan det generellt sägas att vikten av asfaltprovkroppen, tillsammans med lagringstid har en stor betydelse för asfaltprovkroppens Marshallstabilitet.

4.2.2 Styvhetsanalys

I detta kapitel ligger fokuset på hur asfaltprovkropparna deformeras. Inbördes jämförelser, förklaringar och diskussion presenteras.

4.2.2.1 Marshallstabilitet över tid

I dessa diagram presenteras en inbördes jämförelse hur asfaltprovkropparna beter sig efter tid. Först presenteras en jämförelse efter 6 dygns lagring i de olika lagringsförhållandena, se Figur 38.



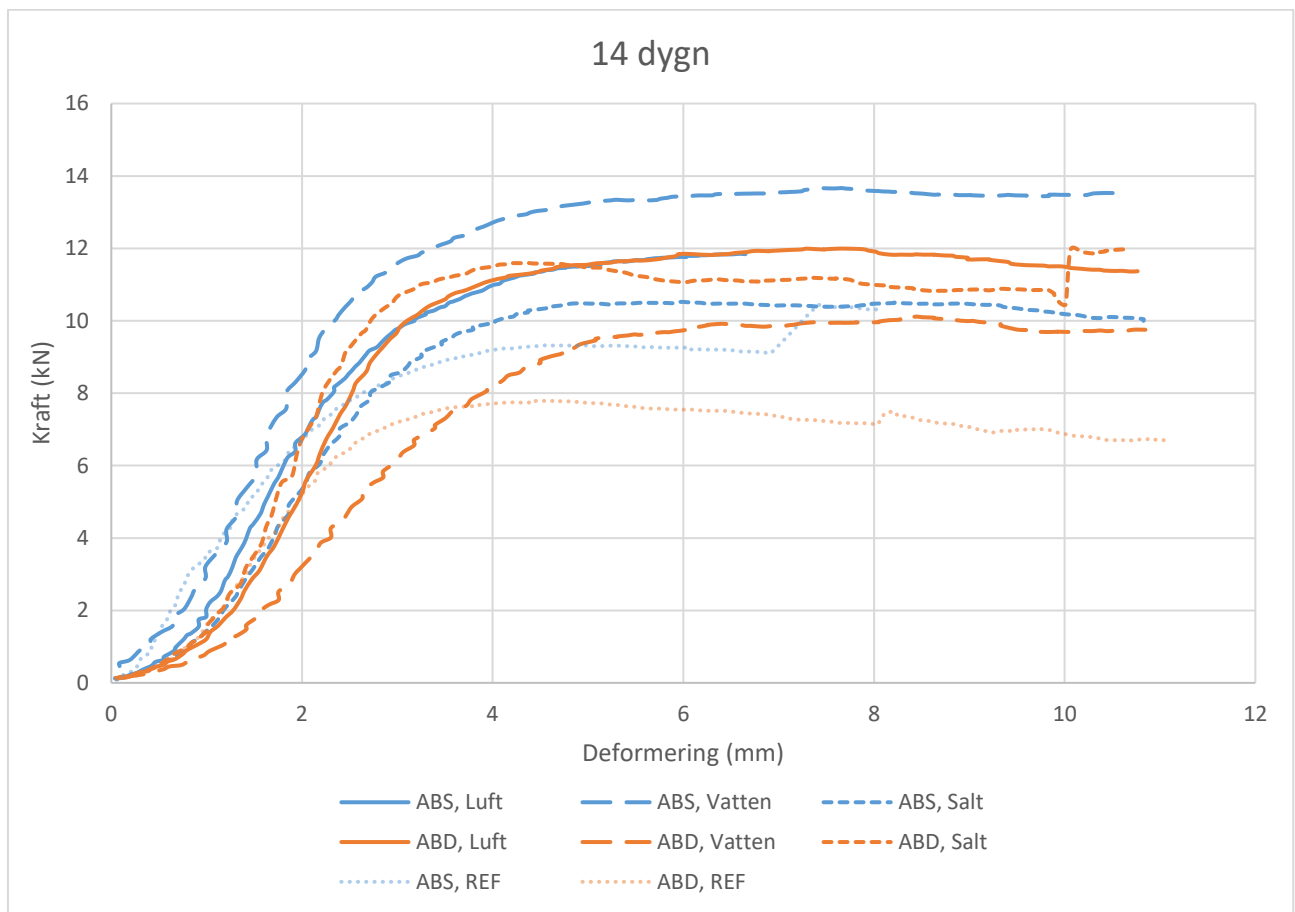
Figur 38: Stabilitet efter 6 dygns lagring.

Efter 6 dygns lagring i respektive lagringsmedium har ABS-proverna som varit luft- och vattenlagrade en bättre Marshallstabilitet än resterande provkroppar. Här finns en skillnad mellan ABS-proverna och ABD-proverna. ABS-provernas stabilitet i vatten och luft är bättre än resterande medan de saltvattenlagrade provkropparnas Marshallstabilitet är sämre än de andra två. För ABD-proverna är det de luft- och saltvattenlagrade provkropparna som har en snarlik stabilitet och visar bättre stabilitet än de vattenlagrade provkropparna.

Noterbart är också att den inledande elastiska fasen i alla provkroppar beter sig ungefär likadant, dock med variationer i var den elastisk-plastiska punkten befinner sig.

Anledningen till att ABS-proverna tål större krafter är förmodligen eftersom den beläggningen är tätare och bör tåla större laster.

Resultaten efter 14 dygn lagring i de olika lagringsförhållanden visas i Figur 39.



Figur 39: Stabilitet efter 14 dygns lagring.

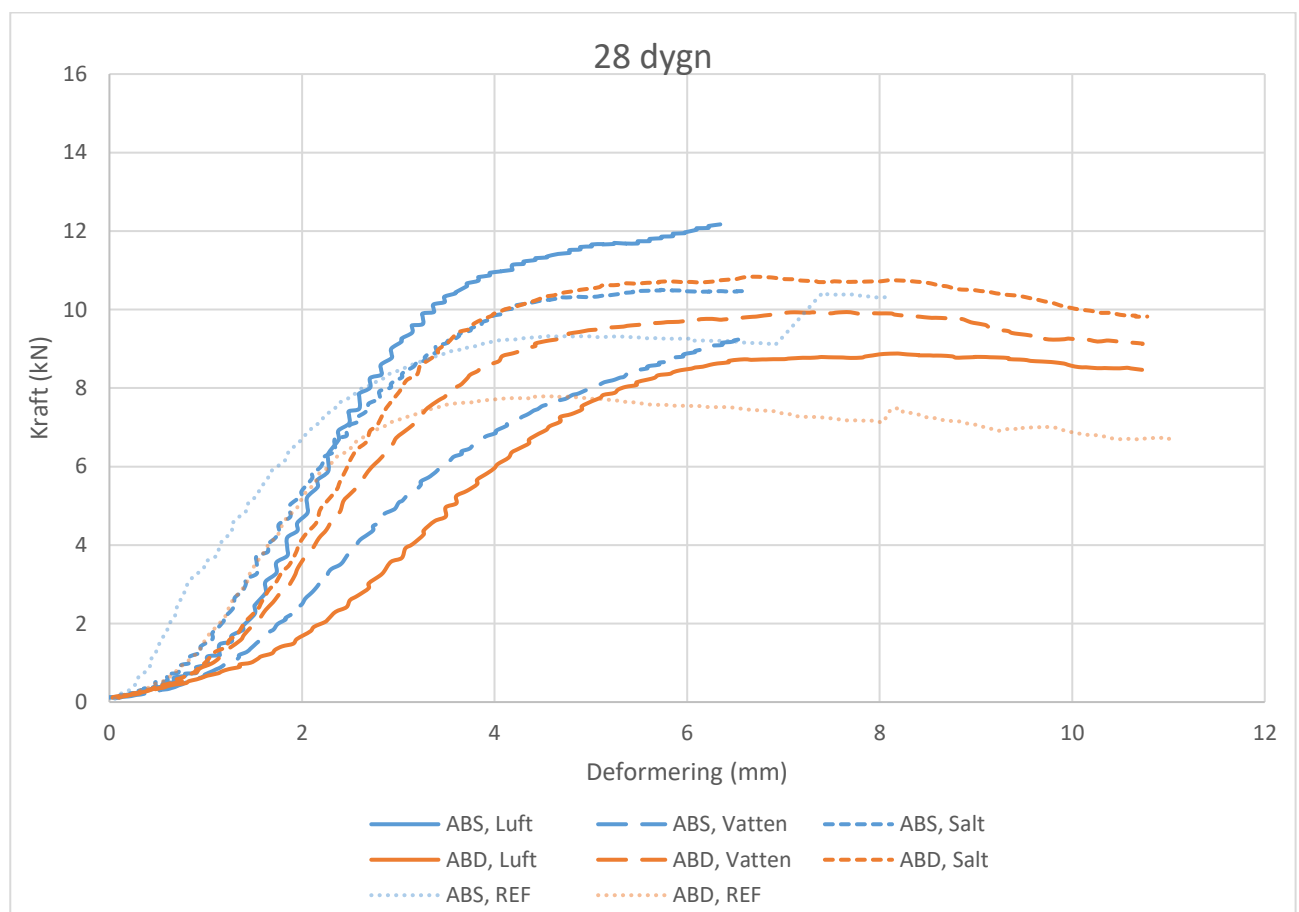
De vattenlagrade proverna har stora skillnader mellan varandra, en trolig orsak kan vara den att ABD som har dränerande egenskaper (orange-långstreckad kurva) blivit påverkad mer än ABS, som är tät, på grund av att ABD-provkropparna har en hög hålrumshalt tillåts vatten att tränga sig in på insidan och kan börja lösa upp bitumen från provkroppen från flera håll.

Resterande av provkropparna som testades uppvisar ett snarligt resultat. Förvånande är åter att de saltvattenlagrade asfaltprovkropparna uppvisar en snarlik stabilitet som de luftlagrade proverna. En trolig orsak till de luftlagrades försvagning är att de varit instängda i ett dåligt ventilerat kärl och har påverkats av dess egna dunstningsångor samt inte fått fri tillgång till syre

och således inte kunnat oxidera. Anledningen till att de saltvattenlagrade proverna påvisar resultat över förväntan beror troligen på saltvattenlösningens osmos.

En annan också förvånande aspekt är det inte heller finns någon nämnvärd inbördes skillnad mellan de saltvattenlagrade proverna som det gör i de vattenlagrade proverna. Troligen ligger skillnaden i att genom saltvattenlagringen bildas små luftbubblor på ytan av provkroppen som skyddar och förseglar provkroppen mot större ingrepp från vattnet. I jämförelse med föregående graf 6 dygn, Figur 38, syns att den elastiska delen av deformationen är något mer utdragen för 14 dygn, vilket betyder att asfaltprovkropparna generellt blivit mjukare över tid.

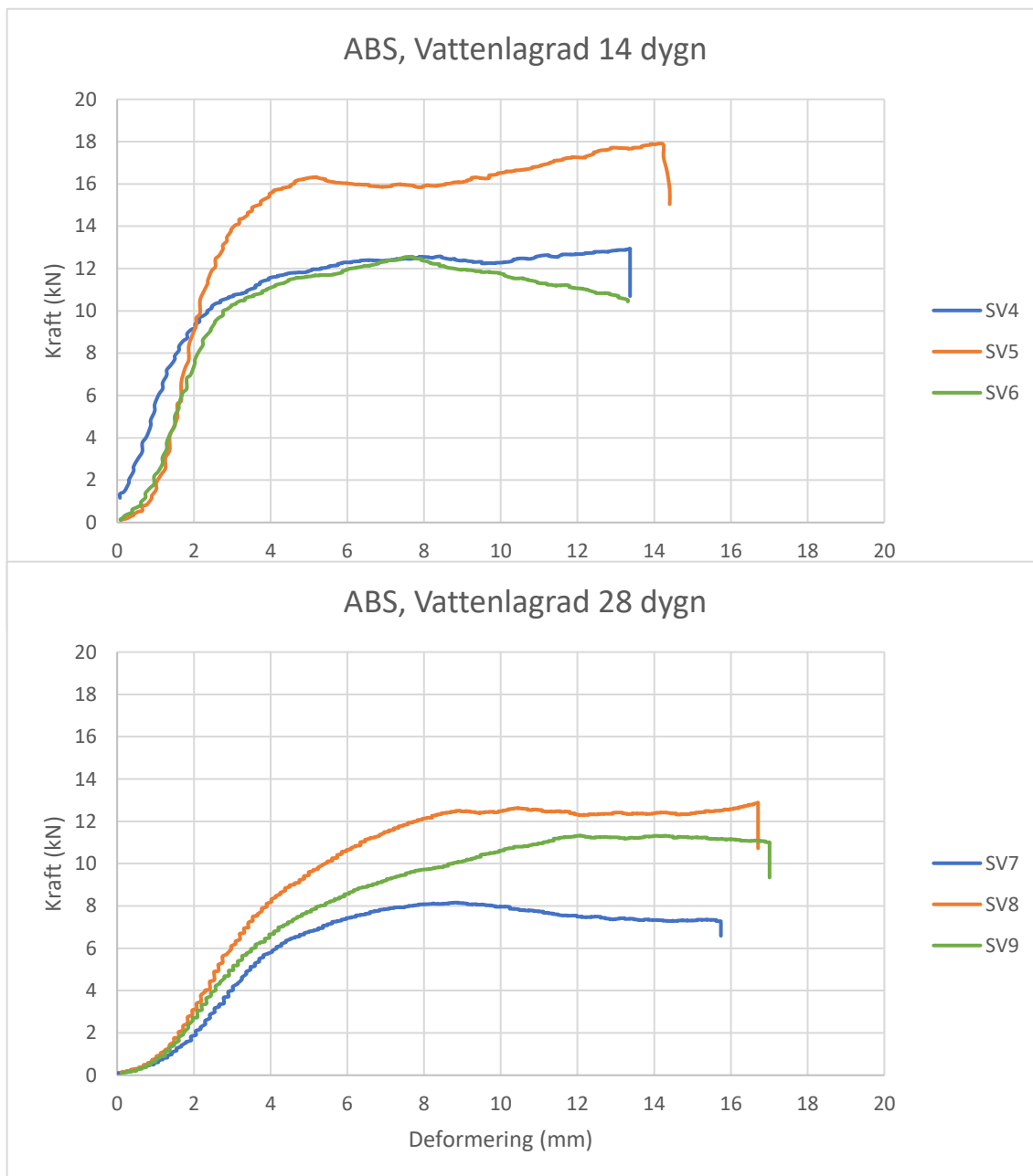
Slutligen presenteras resultaten efter 28 dygns lagring i Figur 40.



Figur 40: Stabilitet efter 28 dygn.

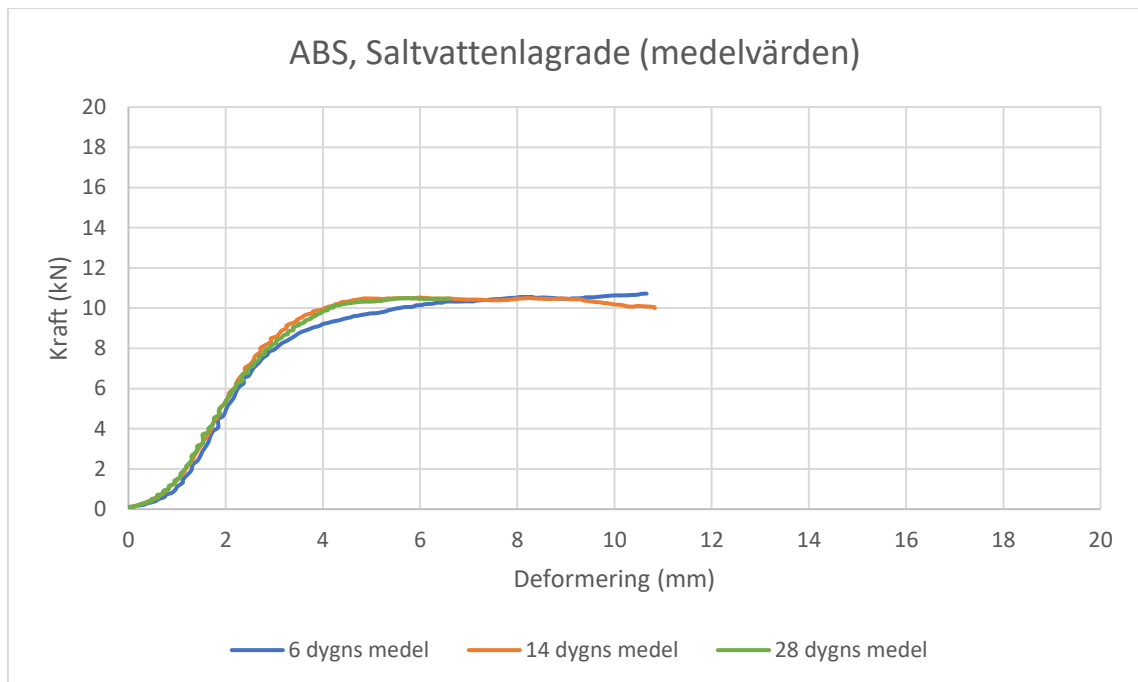
I denna figur blir det ännu tydligare att provkropparna blir mjukare efter de olika lagringsförhållandena och över lagringstiden. De saltvattenlagrade provkropparna påvisar en bättre stabilitet gentemot resterande provkroppar, förutom de luftlagrade ABS-proverna. Dessutom visar testerna stora skillnader i hur de luftlagrade provkropparna beter sig olika efter 28 dygns påfrestning.

Noterbart är också hur de vattenlagrade ABS-provernas stabilitet försämrats jämfört med 6 och 14 dygnstesterna samt att de vattenlagrade ABD-proverna i stort sett är identiska med 14 dygnstesterna. En trolig orsak till att de vattenlagrade ABS-proverna nu visar en sämre stabilitet än innan är att vatten nu trängt in genom membranet och vidhäftningen försämrats vilket också går att se vid närmare analys av data av de individuella provkropparnas prestation. När vattnet penetrerat membranet kan det ha löst lite av det viktiga fyllermaterialet, vilket också kan förklara den bruna färg som okulärt observerats. se Figur 41.



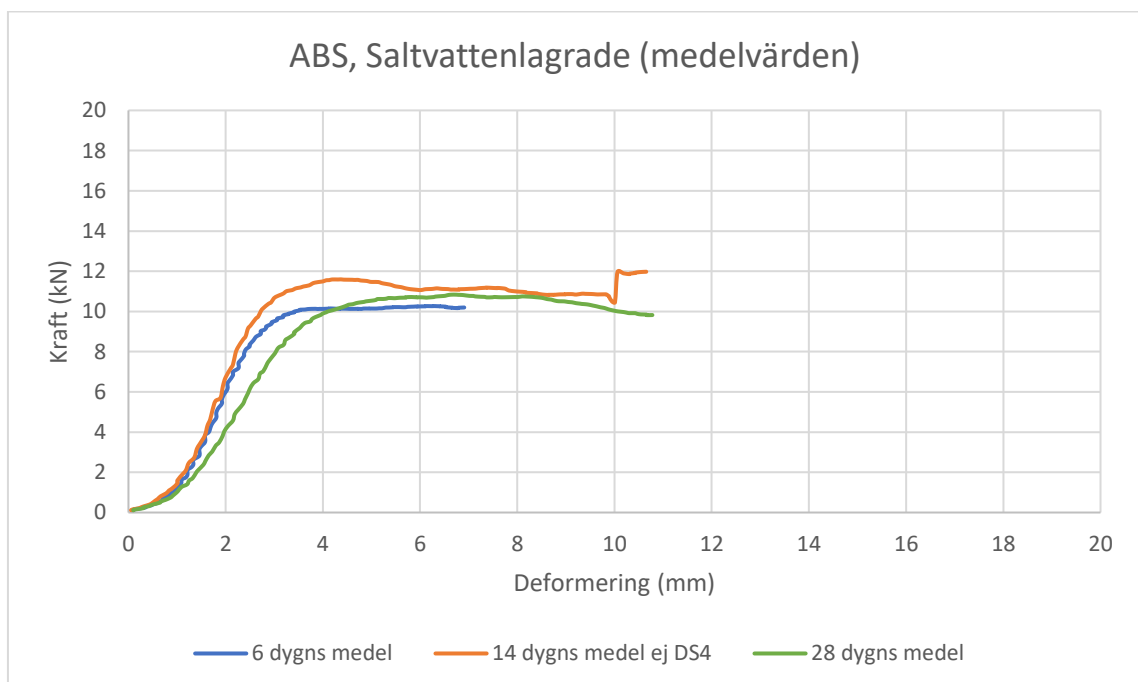
Figur 41: Jämförelse vattenlagrade ABS 14 respektive 28 dygn.

Studeras de saltvattenlagrade ABS-provernans medelvärden närmare samfaller alla nära varandra oavsett lagringstid, se Figur 42.



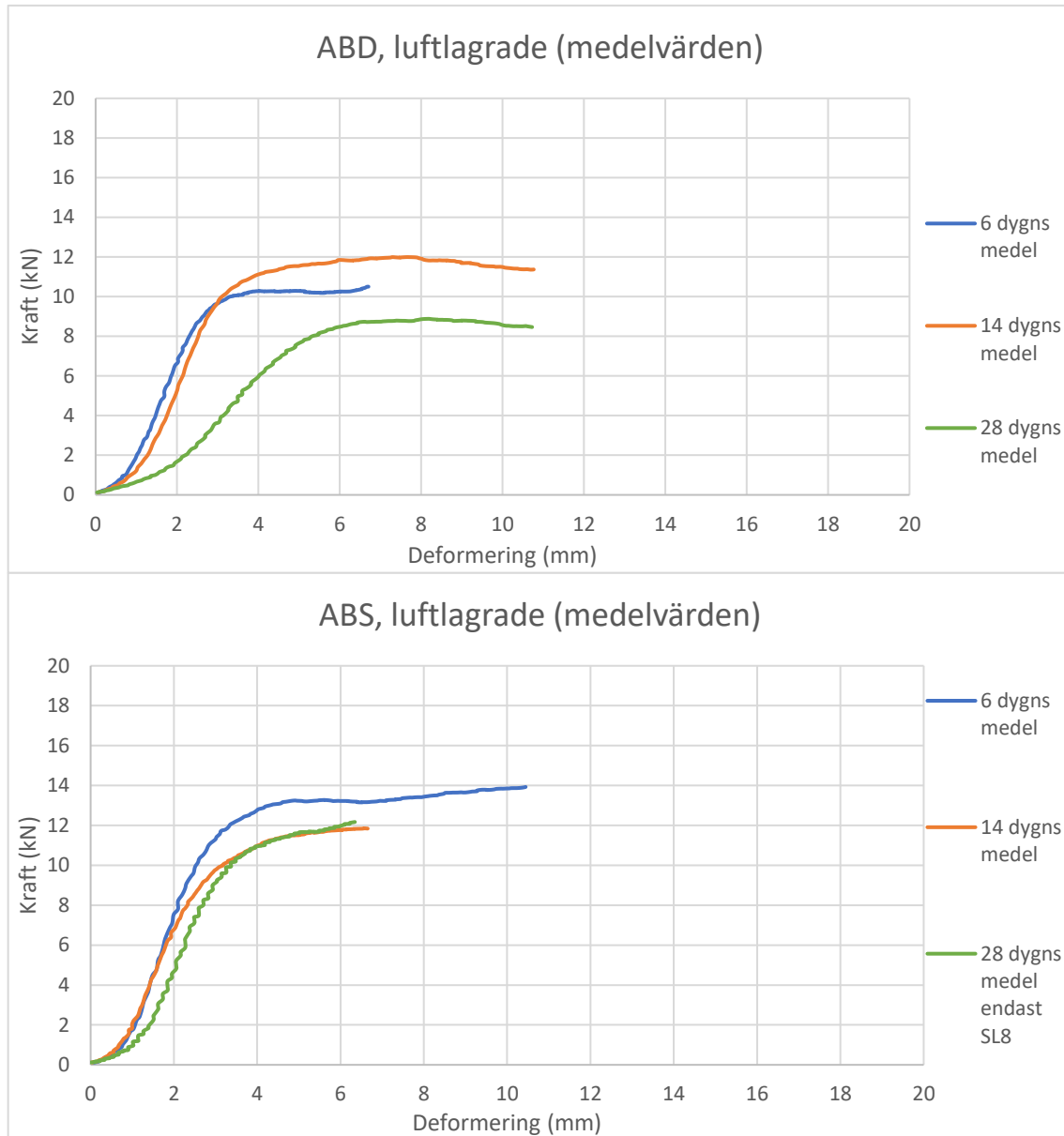
Figur 42: ABS, saltvattenlagrade (medelvärden)

Även ABD-proverna som lagrats i salt påvisar inom rimliga gränser att Marshallstabiliteten för de saltvattenlagrade proverna är mindre beroende av lagringstiden, se Figur 43 (observera att DS4 ej med i kalkylen på grund av mätfel).



Figur 43: ABD, saltvattenlagrade (medelvärden)

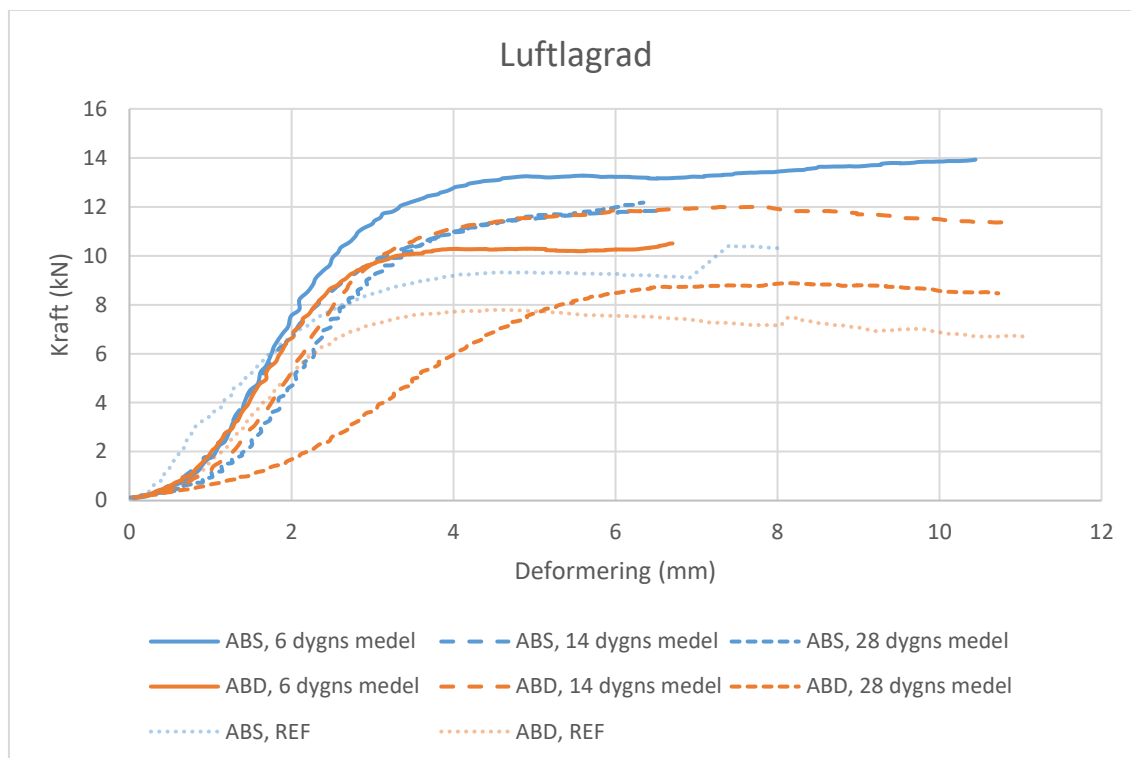
Jämförs utvecklingen av de luftlagrade ABD- och ABS-proverna noteras att ABD-proverna påverkas starkare av nedbrytningen i ett dåligt ventilerat utrymme. Trolig orsak är att mer av bituminet är exponerat för dunstning på grund av högre hålrums halt, där den stora förändringen sker någonstans efter 14 dygn, se Figur 44.



Figur 44: Jämförelse luftlagrade ABS- och ABD-prover.

4.2.2.2 Marshallstabilitet i olika lagringsmedium

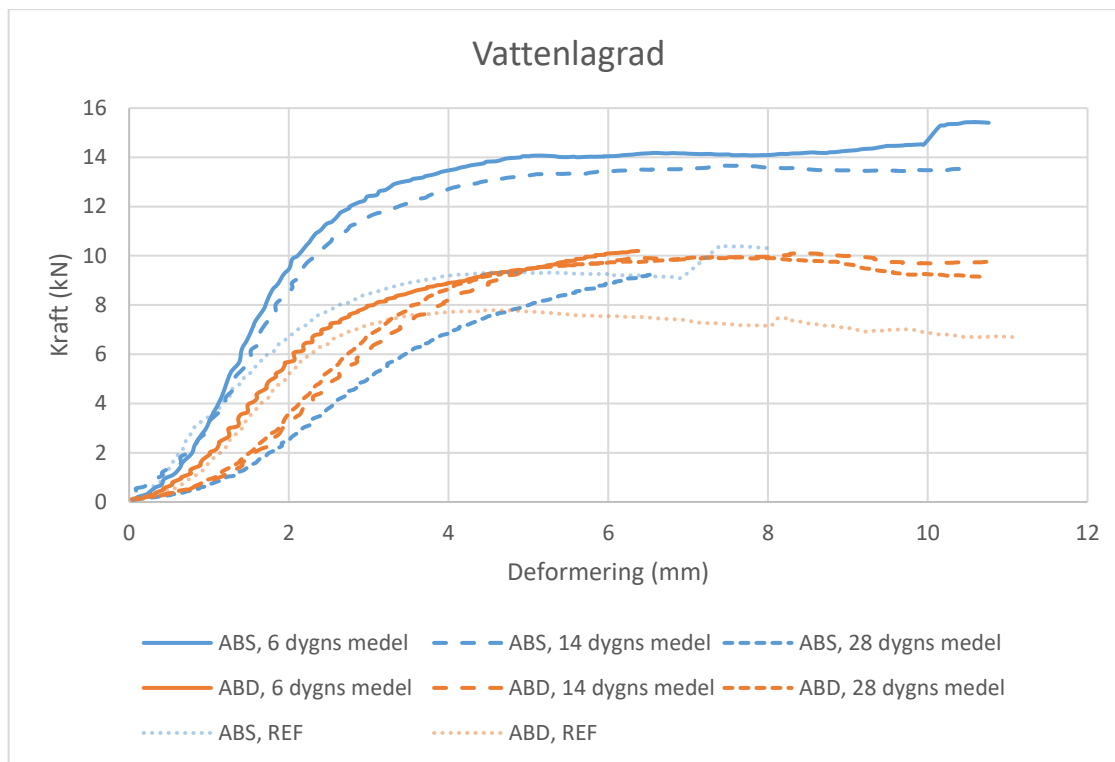
Här presenteras olika figurer med ett annat perspektiv för att analysera stabiliteten hos asfaltprovkropparna. Figur 45 nedan visar hur alla luftlagrade prover presterade i en inbördes jämförelse med Marshallstabilitetstester.



Figur 45: Marshallstabilitet hos luftlagrade provkroppar över tid.

Bäst resultat erhåller 6 dagars ABS, troligen för denna asfaltkropp är tät och påverkas inte lika snabbt av VOC avdunstning som ABD-proverna. Sämst resultat får ABD som lagrats i 28 dygn, också troligen för den varit exponerad för avdunstning av VOC under längre tid, samt att denna asfalttyp har ett större hålrum och kan således oxidera mer.

Resultaten för de vattenlagrade asfaltprovkropparna presenteras i Figur 46.

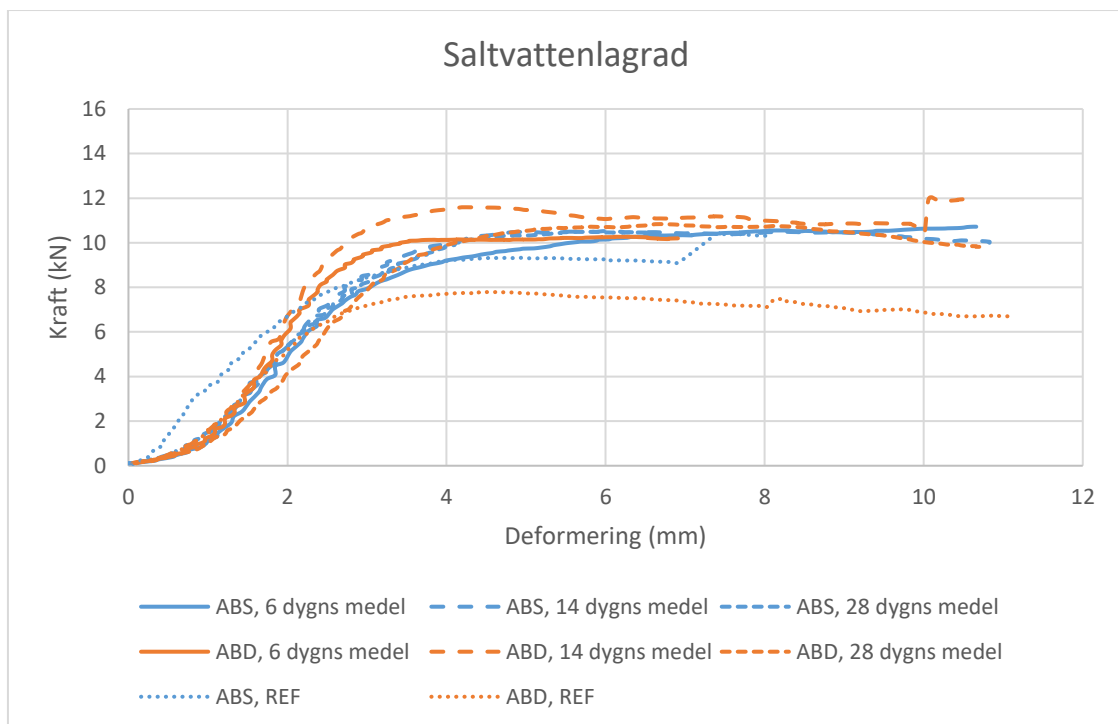


Figur 46: Marshallstabiliteten hos vattenlagrade provkroppar över tid.

För de vattenlagrade asfaltprovkropparna visar ABS-proverna för 6 och 14 dygn bäst stabilitet. Däremot efter 28 dygn visar ABS-proverna sämst stabilitet av alla testade provkroppar som varit vattenlagrade. Det verkar ske något med ABD-proverna också mellan 6 och 14 dygn, möjligen att redan då har den största skadan skett på ABD-proverna, samt att den stora skadan sker mellan 14 och 28 dygn för ABS-proverna. En tänkbar teori och förklaring som tidigare diskuteras kring resultaten kan vara att ABS-typen är en tät beläggning samt har en högre bitumenhalt vilket gör att det tar längre tid för vattnet att penetrera bitumenmembranet kring stenmaterialet, men när vattnet väl penetrerat bitumenmembranet finns det mer finkornigt material och fyller att lösa i vattnet. Det kan vara en förklaring till varför ABS-proverna påvisade en brunare ton i vattnet.

ABD-proverna å andra sidan är som tidigare nämnt en öppen beläggning och innehåller inte lika mycket finkornigt material och erhåller också en lägre bitumenhalt än ABS-proverna. Möjligen förändras ABD-provernas egenskaper inte lika mycket när vatten tränger genom bitumenmembranet, eftersom asfaltprovkroppen har ett stort hålrum, mindre bitumenhalt samt har en lägre halt av finkornigt material.

Resultaten för de saltvattenlagrade provkropparna presenteras i Figur 47.



Figur 47: Marshallstabiliteten hos saltvattenlagrade provkroppar över tid.

Notera att alla grafer i stort sett överlappar varandra och sammanfogas i stort sett till en enda linje. ABD-proverna påvisar efter 14 dygn visserligen bättre stabilitet men kan ses som en tillfällighet då den elastiska delen av grafen i stort sett överlappar varandra samt att testet för ABD efter 14 dygn kommer ner till samma nivå som resterande provkroppar.

Med andra ord påvisar testerna att asfalt som blivit saltvattenlagrad bibehåller sin kvalitet samt att resultaten möjligen kan kopplas till fenomenet med osmos.

4.3 Slutdiskussion

För att koppla an dessa provresultat till verkligheten kan sägas att vatten aldrig är bra att kombinera med asfalt. Stenmaterialet trivs bättre i omslutning av vatten än bitumen (hydrofil). Är det svårt med diken eller annan extern dränering för vägen bör en ABD användas för ändamålet då denna både innehar dränerande egenskaper och klarar vatten på ett bättre sätt, troligen på grund av den lägre halten finkornigt stenmaterial, som inte löses lika lätt från påverkan av vatten.

Vid en längre tids oxidation skall asfalten bli hårdare, men mer spröd och sprickbenägen. I denna studie visades att de luftlagrade asfaltprovkropparnas Marshallstabilitet blev något sämre efter oxidation. Vid nyläggning och kort

därefter anses asfalten dessutom vara bäst, eftersom den är både hård och flexibel. Asfalt blir med oxidation och åldring visserligen hårdare, men också mer spröd och skadebenägen.

Saltning av vägar kan användas med fördel för drift av vägar under vintertid, med avseende på trafiksäkerhet. Saltning bör däremot alltid övervägas när vinterväglag råder då effektiviteten är starkt begränsad av begynnande och kommande temperatur, koncentration av salt, väglag och plogning. Det visar sig även att salt har negativa konsekvenser på vattendrag, VA-infrastruktur samt växtlighet kring både vägen samt omkringliggande vattendrag. Enligt studierna som presenteras i denna rapport finns inga bevis för att salt påverkar enbart slitlagret på vägarna negativt. Däremot är det oklart hur proverna skulle prestera vid frekventa tö-cykler med vatten respektive salt, vilket skulle kunna fördel kunna undersökas i framtida studier. Vad som också är oklart är hur salt påverkar de andra stenlagren i vägöverbyggnaden.

Svar på de inledande frågeställningarna:

1. Hur påverkar saltvatten ABD11 70/100 och ABS11 70/100?

Saltvatten påverkar, för det sättet experiment utförts, både ABS11 70/100 och ABD11 70/100. Över tid verkar enbart saltvatten hjälpande snarare än stjälpande för asfaltbetongens åldrande. En trolig orsak till resultatet är osmos i de saltvattenlagrade proverna.

2. Påverkar saltvatten ABD11 70/100 och ABS11 70/100 annorlunda än enbart vatten?

Ja, både ABS- och ABD-proverna visar bättre Marshallstabilitet efter 28 dygn då de lagrats i saltvatten i stället för enbart vatten.

3. Finns det skillnader i hur ABD11 70/100 och ABS11 70/100 påverkas av vatten och saltvatten?

Vatten verkar påverka ABD-proverna i ett tidigare stadiet, men konsekvensen verkar inte vara lika stor jämfört med ABS-proverna, som blev påverkade av vatten senare i experimentet, dock med sämre stabilitet.

Inledningsvis visar det sig att ABS-proverna som lagrats i saltvatten har en sämre Marshallstabilitet än de luft- och vattenlagrade proverna. ABD-proverna har en snarlik stabilitet jämfört med sina motsvarigheter i de luft- och vattenlagrade proverna.

4. Finns det tidsberoende brytpunkter då hållfastheten hos ABD11 70/100 och ABS11 70/100 ändras i ett avvikande mönster? I så fall när?

Ja, för de luftlagrade ABS-proverna verkar det finnas en brytpunkt mellan 6 och 14 dygn, då Marshallstabiliteten försämrats något. Som kontrast verkar ABD-proverna ha en brytpunkt någonstans mellan 14 och 28 dygn, där testerna efter 28 dygn visade stora skillnader i stabilitet.

För de vattenlagrade ABS-proverna verkar en brytpunkt finnas någonstans mellan 14 och 28 dygn samt för ABD-proverna verkade brytpunkten återfinnas mellan 6 och 14 dygn, däremot är påverkan efter denna brytpunkt liten i jämförelse med hur ABS-provernans stabilitet efter deras brytpunkt.

För de saltvattenlagrade proverna har inga betydande brytpunkter noterats annat än att alla saltvattenlagrade prover visar sämre Marshallstabilitet från första testet än de luft- och vattenlagrade ABS-proverna efter 6 dygn, men att det däremot inte observerats någon nedåtgående trend i stabilitet över tid.

5. Hur stor är skillnaden mot torra exemplar av ABD11 70/100 och ABS11 70/100?

De prover som lagrats i luft har blivit utsatta för ett dåligt ventilerat utrymme och visar sämre Marshallstabilitet eftersom de inte fått oxidera utan möjligen påverkats negativt av den höga halten av oxiderad bitumen. Det försvårar den inbördes jämförelsen mellan proverna. Skillnader har observerats på flera olika sätt, men för att adekvat besvara frågan krävs mer prover och bredare forskning om ämnet.

4.4 Felkällor vid genomförande

Detta kapitel går igenom och diskuterar olika möjliga felkällor i arbetet som kan ha påverkat resultaten.

4.4.1 Tillverkning

Vid tillverkning finns flera faktorer som kan påverka sammansättningen och kvalitén hos asfaltkroppen.

4.4.1.1 Materialuppvägning

Vid 3.2.1 Recepttillverkning kan flera möjliga felkällor finnas, till exempel kan det vara fraktioner av stenmaterial som av olika anledningar hamnat i fel kärl, vilket kan ha resulterat i asfaltprovkroppar med större andelar av vissa fraktioner och mindre av andra. Sammansättningen och hållfastheten kan riskera att inte bli optimal. Trots detta bedöms sannolikheten att recepten skulle vara fel på grund av detta som låg.

En annan möjlig felkälla är att mindre korn kan ha stjälpits ur skopan och hamnat på vågen, vilket kan ha givit differenser om maximalt några gram. Även detta kan resultera i att andelen av en viss fraktionen kan ha varit fel. Däremot nollställdes alltid vågen mellan vägning och även denna felkälla bedöms ha låg påverkan på experimentet.

Stenmaterialet stod en längre tid vilket minimerar risken för fukt som kan finnas sig i materialet. Fukt i stenmaterial kan ha överskattat vikten hos materialet och receptandelarna kan ha påverkats. Sannolikheten i detta experiment bedöms som låg.

En inkonsekvens som skedde vid tillverkning var både att stenmaterial av fraktion 8–11 behövde fyllas på. De gjordes med likadant stenmaterial från samma täckt. Däremot kan mindre fraktioner som befann sig på botten av kärlet ha beblandats i någon av proverna. Dessutom fattades filler för en av blandningarna. Lösningen blev att sikta 0–2 fraktionen och få filler till sista blandningen, vilket kan ha påverkat de sista proverna som tillverkades av ABD, däremot bör detta ha en låg inverkan på resultatet eftersom både filler och stenmaterialet med fraktionen 0-2mm \varnothing hämtades från samma täckt.

Vid 3.2.2.2 Förvärmning av material, identifierades möjliga felkällor i att värmeskåpet behövde öppnas och därmed förblev värmen i skåpen inte konstant.

4.4.1.2 Blandning

Vid 3.2.2.3 Blandning, kan ha möjliga felkällor. Den första är att materialet hinner svalna något mellan värmeskåpet och blandaren, däremot minimerades avsvälningens påverkan eftersom arbetstempot hölls uppe. Blandaren blandade enligt ett visst mönster, för att få ett liknande rörelsemönster varje gång. I blandaren krossades lite sten, vilket påverkar receptandelarna, däremot bedöms sannolikheten för att denna felkällas påverkan som mycket låg.

Stenmaterialet tenderade att fastna på bladet som blandar stenmaterialet, detta skrapades i bästa mån åter ner i blandaren. Däremot kan mindre rester av bitumen ha befunnit sig i och kring blandaren då det efter varje blandning kan vara svårt att få bort all bitumen med tanke på dess härdning vid lägre temperatur vilket påverkar receptandelarna.

Blandning skedde först med endast stenmaterial och sedan med bitumen tillsammans med stenmaterial. Mellan dessa steg mättes bitumen upp till rätt vikt och andel. Detta gjordes genom att bitumen låtits lagras i ett värmeskåp om 150°C vilket gjorde bitumen lättflytande. Därefter hälldes bitumen över i ett litermått, som även det förvärmades i värmeskåpet, eftersom bitumen måste hållas flytande. En felkälla som kan påverka kvalitén på asfaltprovkroppen här var bitumens temperatur vid tillverkning. Det är mycket viktigt att hålla bitumen varm och flytande för att få så bra beblandning och täckning som möjligt av bitumen.

Tar det för lång tid att mäta upp bitumen riskeras att bitumen blir mer trögflytande och får sämre beblandning med stenmaterialet. Detta steg genomförs varsamt. Hade bitumen blivit för trögflytande avbröts operationen och bitumen fick återgå till lagring i värmeskåp innan nya försök genomfördes. Risken att bitumen inte spridit sig bra på grund av temperatur bedöms som låg till medel.

4.4.1.3 Fördelning

Vid 3.2.2.4 Fördelning fanns möjliga felkällor i att burkarna som användes vid fördelning innehöll rester av gammal asfaltmassa på botten, däremot nollställdes alltid vägen innan vägning av asfaltprovkroppen. Vid fördelningen kunde det i blandaren hända att asfaltgrus med större fraktioner lade sig på toppen av massan samtidigt som asfaltgrus med mindre fraktioner närmade sig botten av massan, vilket kan göra att den första asfaltkroppen i batchen som fördelades upp tenderar att ha en högre andel av större stenfraktion än den sista. Dessutom tenderade botten av massan att innehålla mer bitumen, då bitumen fortfarande är flytande, vidare accepterades en asfaltprovkropp vid

fördelning om stenmaterialet hamnade inom gränsvärdena 1150-1250g. Dock bör sägas att 100g kan ha givit asfaltkroppenarna en väsentlig skillnad när det kommer till lastfördelning i Marshallpressen. En inkonsekvens vid uppläggning var att recepten i enstaka fall var för små och räckte till asfaltprovkroppar med en vikt som väsentligt underskred gränsvärdet 1150g. Dessa provkroppar som blivit ”platta” (45mm – ca 60mm höjd) efter stampning och erhöll ofta sämre kvalitetsvärden än resterande provkroppar. Denna inkonsekvens innefattar provkropparna SLe4, SL7, SV7 och möjligen SS1 samt DLe4. Påverkan på resultaten bedöms som hög, mer läses i 4.2 Datainsamling.

4.4.1.4 Uppläggning

Vid 3.2.2.5 Uppläggning kan det ha blivit inbördes skillnader mellan asfaltprovkropparna, till exempel stelnar bitumen om inte operationen genomförs tillräckligt smidigt. Dessutom fanns skillnader i mängd CRC 5-56 som sprutas på formen, CRC 5-56 är svagt petroleumlösligt och kan därför lösa lite eller luckra upp bituminet på asfaltprovkropparna. En inkonsekvens vid uppläggning är att all asfaltmassa inte avlägsnas från burken utan en viss del blir kvar, i vissa fall kan lite av den asfaltmassan på botten ha lossnat och hamnat tillsammans med den uppmätta asfaltprovkroppen. Mängden asfaltmassa kan ha minskat eller ökat någorlunda och därmed kan sägas att även här blir det skillnader som påverkar resultaten, dock i begränsad utsträckning och eftersom det rör sig om några få gram kan den här inkonsekvensen ses som alltid förekommande men effekten blir inte hotande stor.

4.4.1.5 Kompaktering av Marshallprovkroppar

Vid 3.2.2.6 Kompaktering av Marshallprovkroppar finns även där inkonsekvenser vilka är handhavande misstag. Placeras stampningen för avvikande från centrum kan stampen agera på ett felaktigt sätt och slå med fel kraft. Detta åtgärdas vid upptäckt och stampning sätts upp på nytt, felkällan hamnar i att vissa asfaltprovkroppar kan ha fått fler slag och vissa kan ha fått slag med mindre kraft. Detta skedde sporadiskt och kan påverka vilka asfaltprovkroppar som helst. Påverkan bedöms som hög eftersom asfaltprovkroppens sammansättning och hårdhet bör påverkas antingen positivt eller negativt till följd av inkonsekvensen.

Efter stampning kan det vara svårt att ta bort filtret som applicerades vid uppläggning, detta filter kan möjligen påverka asfaltprovkropparna i respektive kärl. Sannolikheten bedöms som låg till medel.

4.4.2 Lagring och hålrums halt

4.4.2.1 Hålrums halt

Vid undersökning av 3.3.1 Hålrums halt finns möjliga felkällor. Bestämmandet av skrymdensiteten, där blötvikt i luft mättes, finns en felkälla när asfaltprovkroppen efter vägning plockas upp från vattenkärlet.

Asfaltprovkroppen torkas snabbt av med en mikrofiberduk för att sedan åter placeras på vågen. Inkonsekvensen låg i att mängden fukt som torkas bort varierar. Felmarginalen varierar i och med att hålrums halten varierar i varje prov. Därför är det svårt att få ett perfekt värde för denna parameter. Påverkan på bestämning av hålrums halten bedöms som medel.

4.4.2.2 Våg

Vågen, som mätningarna genomfördes med hade en precision om hundradels gram. I och med denna exakthet förekom också små fluktuationer i decimalen eftersom nätkorgen får små vibrationer efter användning. Detta minimerades genom längre väntetid mellan mätningarna och värdet för vikten läts stabiliseras.

4.4.2.3 Lagring

När asfaltprovkropparna placerades för att vila mättes vatten upp till 10L för respektive blötlagda kärl och placerades. Därefter beblandades båda saltkärlen med 230g salt vilka spreds i bästa möjliga mån runt i hela kärlet för att få bra täckning. Asfaltprovkropparna lyftes även upp för att få salt in under.

4.4.3 Tester i Marshallstabilitetspress

4.4.3.1 Vattenbad

Vid 3.3.2 Marshallstabilitet placerades först asfaltprovkropparna i ett vattenbad till värmen 40°C. Detta vattenbad tenderade till att slå över till ca 40,6°C och möjligen variera någon tiondels grad emellanåt. En större felkälla som påverkar resultaten i referensprovkropparna var att på grund av färre provkroppar i vattenbaden krävdes en större mängd vatten för att erhålla temperaturen på 40°C. Emellertid lagrades dessa provkroppar i en förhöjd temperatur på 46,6°C. Detta bedöms ha omfattande påverkan på referensprovkropparnas testresultat, till dess nackdel, eftersom bitumen 70/100

har en mjukpunkt som ligger mellan 43-51°C⁸⁴. Detta utgör en betydande skillnad på bitumen och sammanhållningen hos asfaltprovkroppen.

Vidare, kan provkropparna fått lagras olika lång tid i vattenbaden, eftersom de i vissa fall fick börja i kallvatten och vissa fall, varmvatten. Testerna skedde när provkropparna minst varit blötlagda med rätt temperatur i minst 30 minuter. Påverkan på resultaten bedöms som oklart.

4.4.3.2 Marshallpress och dator

I marshallpressen smordes formen med CRC 5-56 för att hindra fastsättning, CRC 5-56 är svagt petroleumlösligt och kan påverka resultaten. Sannolikheten bedöms som låg. För upplysningens skull lades, efter en marshallprovning, den testade asfaltprovkroppen tillbaka i sitt ursprungliga kärl.

Utöver dessa felkällor finns även oklara mjukvarufel i den datormaskin som användes vid testtillfällena. Felen återfinns att beskåda i testerna SL9, DV6 och DS4. Påverkan på resultaten bedöms som omfattande och icke adekvata för analys. Dessa prover utslöts helt ifrån resultaten och resonemangen. Tyvärr får deras motsvarande två asfaltprovkroppar ett medelvärde som är mer osäkert vilket gör det svårare att resonera kring.

5 Slutsatser

Slutsatsen som kan härledas av denna studie tyder på att vikten och/eller tjockleken på en asfaltprovkropp har betydelse för den krafterna som asfaltprovkropparna kan tåla. Däremot visar kraft/deformering inte samma korrelation även om där finns ett litet samband.

Generellt kan sägas att ABD-proverna visar ett mer konsekvent resultat efter 28 dygn med inverkan från alla testade medium, dåligt ventilerat utrymme, vattenlagrad, och saltvattenlagrad. Resultatet kopplas till att ABD är en dränerande beläggning med hög hålrums halt samt erhåller en lägre mängd bitumen och finkornigt stenmaterial som i denna studie visade sig kunna vara en fördel över tid. ABS-proverna visade bättre marshallstabilitet när de lagrats i 6 och 14 dygn, vilket kopplas till att uppbyggnaden i stenmaterialet för ABS-proverna är mer stabil och skall också tåla mer last.

ABD-proverna visade sig mer känslig för avdunstning över tid medan ABS-proverna visade sig mer känslig för vattenlagring över tid. De

⁸⁴ Nynas AB. Bitumen. *Nynas 70/100 – Säkerhetsdatablad*. Publicerad 26 maj 2016. <https://www.ljmark.se/wp-content/uploads/2015/10/Nynas-70-100.pdf> (Hämtad 2024-05-13)

saltvattenlagrade proverna för båda typer as asfalter visade knappt någon förändring under åldrandet men visade sämre Marshallstabilitet än ABS-proverna som lagrats i luft respektive vatten för 6 och 14 dygn. Att de saltvattenlagrade proverna visar jämn stabilitet genom alla test kan möjligen ha svaret i att asfaltprovkropparna reagerade med saltvattnet i en osmotisk union.

6 Framtida studier

I detta examensarbete observerades flera aspekter som kan vara av intresse för dels denna studie, dels det allmänna kunskapsläget inom asfaltbranschen. Nedan listas dessa med en kort förklaring varför det skulle vara intressant.

- Analys av saltlösningens påverkan på slitlager efter flertalet tö-cykler.

Kan vara intressant då det kan komplettera dessa studier samt ger ytterligare en infallsvinkel för hur asfalt beter sig i kontakt med saltlösning.

- Analys av salts påverkan på andra lager i överbyggnaden

Kan vara intressant då även dessa lager spelar en avgörande roll för hur nedbrytningen av en väg ser ut.

- Analys av temperaturberoendet hos asfaltprovkroppar. Hur asfaltprovkroppar deformeras utifrån vilken temperatur de erhåller.

Kan vara av nytta för att på ett bättre sätt förstå när asfalt inte bara mjuknar utan verkligen deformeras till följd av hög eller låg temperatur. Samt på vilket sätt asfalten deformeras. Ifall det finns skillnader i deformationskurvan.

- Vägsalts eutektisk föreningshastighet med is, is och vattenlösning och vatten.

Intressant att veta för att kunna optimera saltanvändandet utifrån närliggande kommande temperaturutveckling.

Referenser

Agardh, Sven et Pharhamifar, Ebrahim. *Vägöverbyggnad*. 1 uppl 3. (Stockholm: Liber, 2014). s 65.

Asfaltboken. "Bindemedel: 5.2 Allmänt". *Asfaltskolan*. Hämtad 19 mars, 2024. <https://asfaltboken.se/bindemedel/>

Asfaltboken. "Bindemedel: 5.7.2 Penetrationstal". *Asfaltskolan*. Hämtad 21 maj, 2024. <https://asfaltboken.se/bindemedel/>

Asfaltboken. "Bindemedel: 5.10.4 Vidhäftning". *Asfaltskolan*. Hämtad 22 maj, 2024. <https://asfaltboken.se/bindemedel/>

Asfaltboken. "Bindemedel: 5.10.5 Åldring av bitumen". *Asfaltskolan*. Hämtad 22 maj, 2024. <https://asfaltboken.se/bindemedel/>

Asfaltboken. "Bindemedel: 5.10.3 Funktionsegenskaper i beläggning vid låga temperaturer". Hämtad 22 maj, 2024. <https://asfaltboken.se/bindemedel/>

Asfaltboken. "Stenmaterial: 4.1.14 Konsekvenser av europastandarder för svenska förhållanden". *Asfaltskolan*. Hämtad 22 maj, 2024. <https://asfaltboken.se/stenmaterial/>

Benbow, M. Eric et Merrit, Richard W. *Road Salt*. East Lansing Michigan, Michigan State University. 2005. https://www.researchgate.net/publication/229744415_Road_Salt (Hämtad 2024-03-13)

Bierman, Carl Roos. *A design function of Bitumen Stabilised Material Performance based on laboratory and field evaluation*. publicerad mars 2018. Stellenbosch University. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-design-function-for-bitumen-stabilised-material-Bierman/24e74b5fcd40adc35d4c65e646992fb96d43e7a2> (Hämtad 2024-05-22)

Blomqvist, Göran. *De-icing and the roadside environment*. 2001. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:8905/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2024-05-21)

Blomqvist, Göran och Niska, Anna. *Sopsaltning i Karlstad, Utmaningar och möjligheter*. Statens väg- och transportforskningsinstitut. 2015.
<https://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:867108/FULLTEXT01.pdf>
(Hämtad 2024-05-22)

Britannica. "Osmosis". *Encyclopaedia Britannica*. Senast uppdaterad 9 maj, 2024. Hämtad 22 maj, 2024. <https://www.britannica.com/science/osmosis>

Bulk Highway. *The backbone of the deicing industry*. Compass Minerals. Fotografi <https://hwysalt.com/product/road-salt> (Hämtad 2024-03-13)

EcoConcept. "Fakta om användningen av vägsalt". *EcoConcept AB*. Senast uppdaterad 2021. Hämtad 22 mars, 2024. <https://ecoconcept.se/nyheter/fakta-om-anvandningen-av-vagsalt/>

Finlands Miljöcentral. "Alternativa halkbekämpningsmedel och förvaring av grundvatten (MIDAS)". *Finlands Miljöcentral*. Senast uppdaterad 2013. Hämtad 19 mars, 2024 https://www.syke.fi/sv-FI/Forskning_utveckling/Forsknings_och_utvecklingsprojekt/Projekt/Alternativa_halkbekampningsmedel_och_forvaring_av_grundvatten_MIDAS

Hintz, William D et al. *Road Salts, Human safety, and the rising salinity of our fresh waters*. The Ecological Society of America. *Front Ecol Environ*. 2022. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/fee.2433>
(Hämtad 2024-05-21)

Khan, Farhan. "Marshall Stability Test". *ConstructionHow*. Senast uppdaterad 11 juni, 2021. Hämtad 22 maj, 2024. <https://constructionhow.com/marshall-stability-test/>

Nynas AB. Bitumen. *Nynas 70/100 – Säkerhetsdatablad*. Publicerad 26 maj 2016. <https://www.ljmark.se/wp-content/uploads/2015/10/Nynas-70-100.pdf>
(Hämtad 2024-05-13)

Naturvetenskap.se. Oktettregeln. *Naturvetenskap Sverige handelsbolag*. Hämtad 22 mars, 2024.
<https://naturvetenskap.se/kemi/gymnasiekemi/atomens-uppbyggnad/elektroner/oktettregeln/>

Ojala, Lena och Mellqvist, Elin. *Vägsalt Användning och påverkan på grundvattnet*. Sveriges Geologiska Undersökning. 2004:13.
<https://resource.sgu.se/dokument/publikation/sgurapport/sgurapport200413rapport/s0413-rapport.pdf> (Hämtad 2024-03-13)

Parhamifar, Ebrahim. Siktprotokoll för stenmaterial från Skanska AB vid stenbrottet i Dalby, Lunds Kommun. *Lunds Tekniska Högskola*. 2024.

Parhamifar, Ebrahim. *Vägen till vägen, laborationshandledning 2024*. Lunds Tekniska Högskola. Lund. 2024.

Persson, Göran. Trafikverket köper till saltning av väg – efter kritik mot vinterväghållningen. *Filipstads Tidning*. 2024-02-21.

<https://www.filipstadstidning.se/2024/02/21/trafikverket-koper-till-saltning-av-vag-efter-kritik-mot-vintervaghallningen-afc2e/>

Pieper, Kelsey J. et al. *Impact of Road Salt on Drinking Water Quality and Infrastructure Corrosion in Private Wells*. Environmental Science and Technology. 2018.

https://www.researchgate.net/publication/328816224_Impact_of_Road_Salt_on_Drinking_Water_Quality_and_Infrastructure_Corrosion_in_Private_Wells
(Hämtad 2024-03-18)

RAHA Bitumen Co. *Bitumen components*. RAHA Group. Fotografi.

<https://rahabitumen.com/bitumen-components/> (Hämtad 2024-05-21)

Rathee, Munish, Basic, Boris och Maryam Doborjeh. *Automated Road Defect and Anomaly Detection for Traffic Safety: A Systematic Review*. Basel, Schweiz. Sensors. 2023. https://mdpi-res.com/d_attachment/sensors/sensors-23-05656/article_deploy/sensors-23-05656.pdf?version=1686925247

Skogskunskap. "Dammbindning". *Skogskunskap*. Senast uppdaterad 25 november, 2021. Hämtad 13 mars, 2024. <https://www.skogskunskap.se/vagar-i-skogen/drift-och-underhall/sommarunderhall/dammbindning/>

Sveriges Lantbruksuniversitet. "Salta eller inte salta mot halka – en fråga om miljöpåverkan". *Sveriges Lantbruksuniversitet*. Publicerad 22 februari 2022. Hämtad 17 mars, 2024. <https://www.slu.se/ew-nyheter/2022/2/salta-eller-inte-salta-mot-halka--en-fraga-om-miljopaverkan/#contact-information-header>

Swedish Standard Institute. *Svensk Standard SS-EN 1427:2015: Bitumen och bitumeniösa bindemedel – Bestämning av mjukpunkt – Kula och Ring-metoden*. Utgåva 3. 2015. <https://sisseweb.sis.se/api/document/preview/8016649/>
(Hämtad 2024-05-16)

The Arrive Alive website. "Dust Suppression". *Construction Safety*. Hämtad 21 maj, 2024. <https://www.constructionsafety.co.za/special-areas/road-construction/dust-suppression/>

Trafikverket. *Asfaltbeläggning och -massa: Bestämning av styhetsmodulen hos asfaltbetong genom pulserande pressdragsprovning*. FAS Metod 454-98. https://bransch.trafikverket.se/contentassets/5757e1e5ee8048ed8611d9c84c47829e/47_fas454-98.pdf (Hämtad 2024-04-04)

Trafikverket. "Hala vägar på sommaren". *Trafikverket*. Senast uppdaterad 10 april, 2024. Hämtad 22 maj, 2024. <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall/sa-skotervi-vagar/underhall-av-belagda-vagar/hala-vagar-pa-sommaren/>

Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager TDOK 2013:0529 V4.0*. 2020. <https://trvdokument.trafikverket.se/fileHandler.ashx?typ=showdokument&id=b5efecce-530d-4087-b149-a6f61d8362ba> (Hämtad 2024-03-22)

Trafikverket. *Krav Bitumenbundna lager V1*. 1991. https://bransch.trafikverket.se/contentassets/46aaaeff7d264c71b8ec953091e24ace/1994_26_bitumenbundna_lager.pdf (Hämtad 2024-03-22)

Trafikverket. *Krav TRVINFRA-00224 V2.0 Vägöverbyggnad: Överbyggnad väg, Dimensionering och utformning*. Trafikverket. Publicerad 2021-04-01. https://puben.trafikverket.se/dpub/api/v1/Dokument/DownloadDokument?id=1095b19b-3f91-499a-a6bd-0c0c63e5726e&dokumentName=Krav%20TRVINFRA-00224%20%C3%96verbyggnad%20vaeg,%20Dim%20v2_0.pdf (Hämtad 2024-03-19)

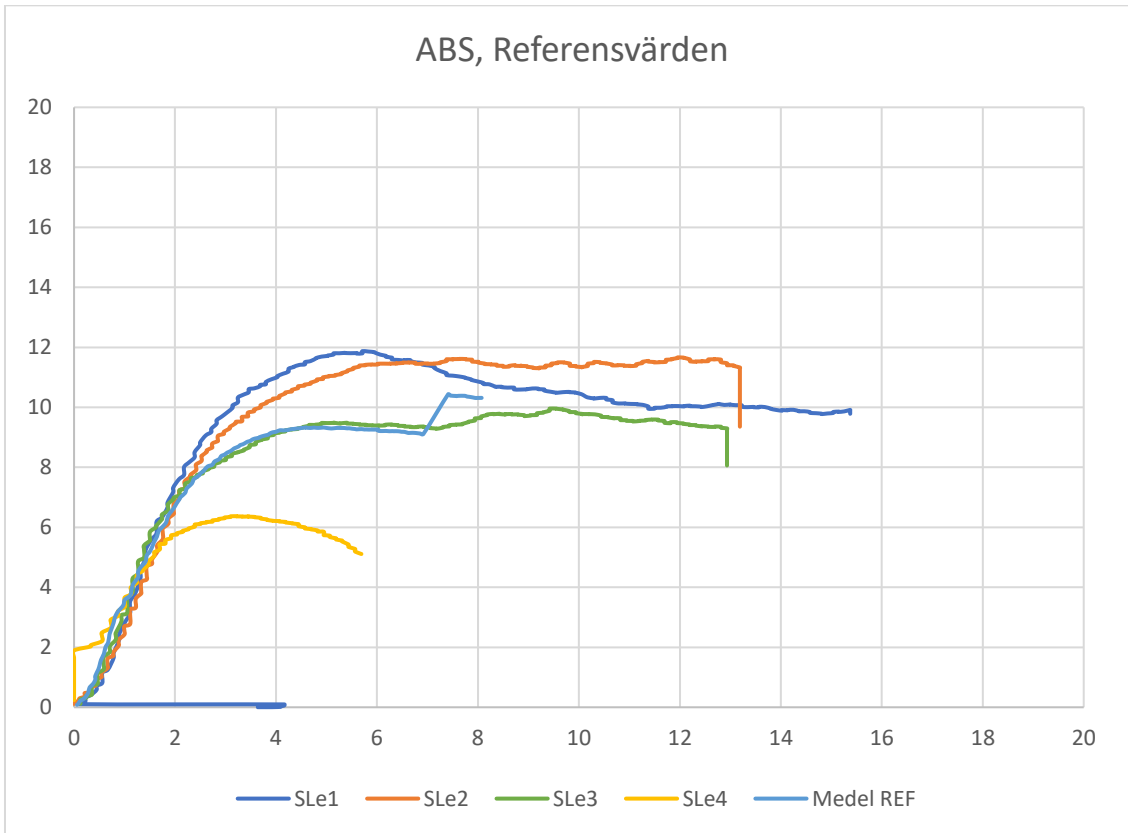
Trafikverket. "Vägsalt – bara där det behövs". *Trafikverket*. Senast uppdaterad 2023. Hämtad 17 mars, 2024. <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall/sa-skotervi-vagar/vintervaghallning/vagsalt---bara-dar-det-behovs/>

Vinnova. "Biobased asphalt for sustainable infrastructure". *Vinnova. Pågående forskning*. 2022-2025. Hämtad 22 maj, 2024 <https://www.vinnova.se/p/biobased-asphalt-for-sustainable-infrastructure/>

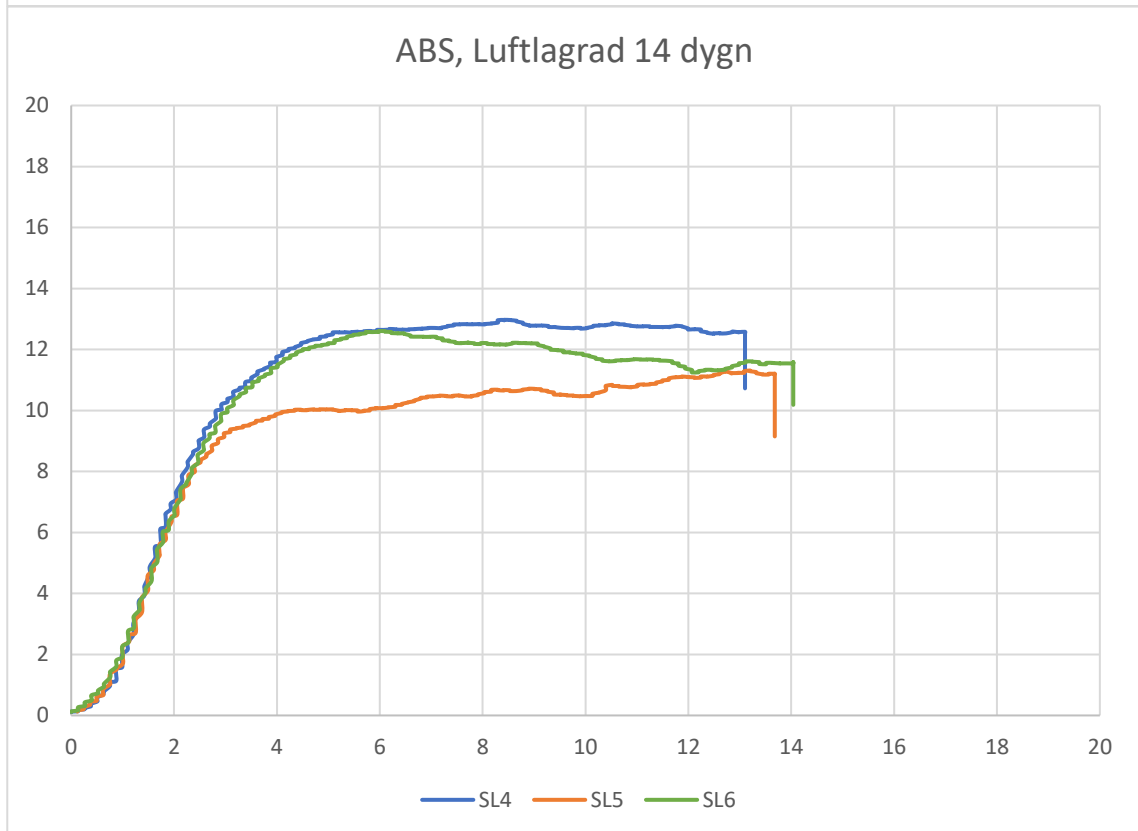
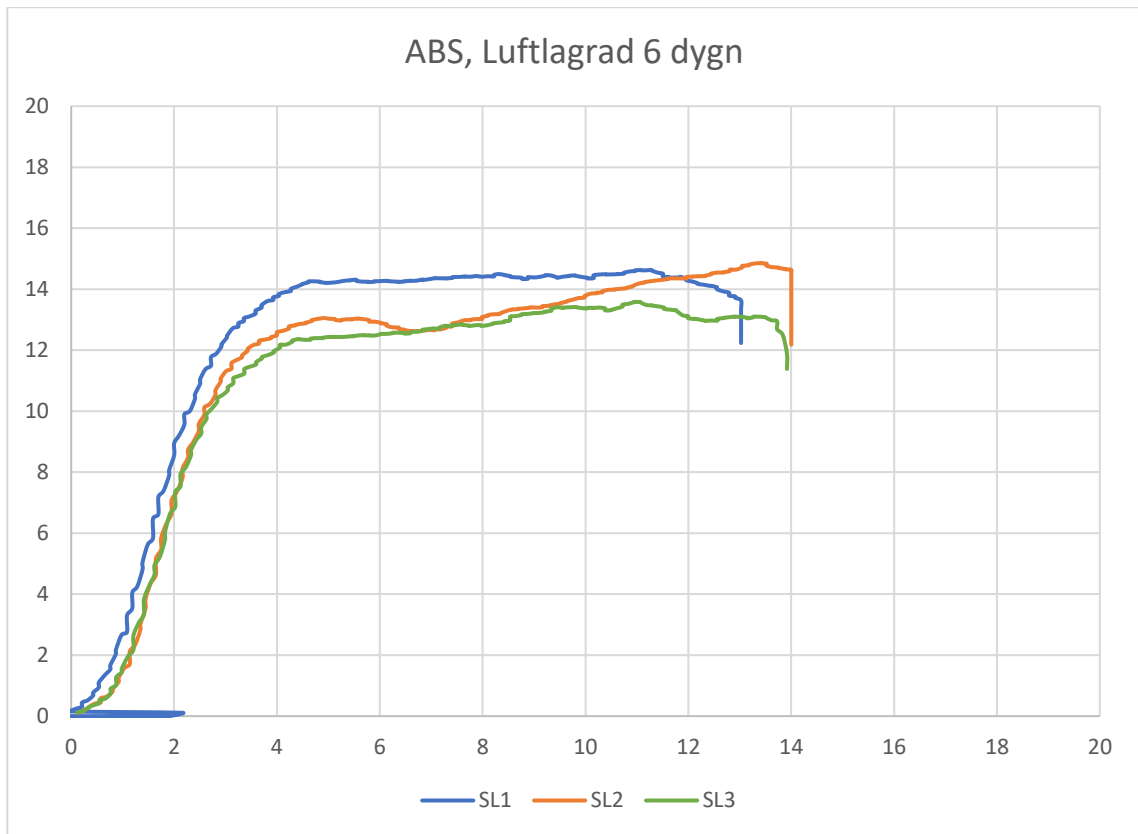
Weimar, Alexander. "Vägsaltet skapar problem i norr och får kritik i söder". *ATL*. 27 november, 2018. <https://www.atl.nu/vagsaltet-uppror-gotlanningarna-och-skapar-problem-for-norrbotten>

Bilagor

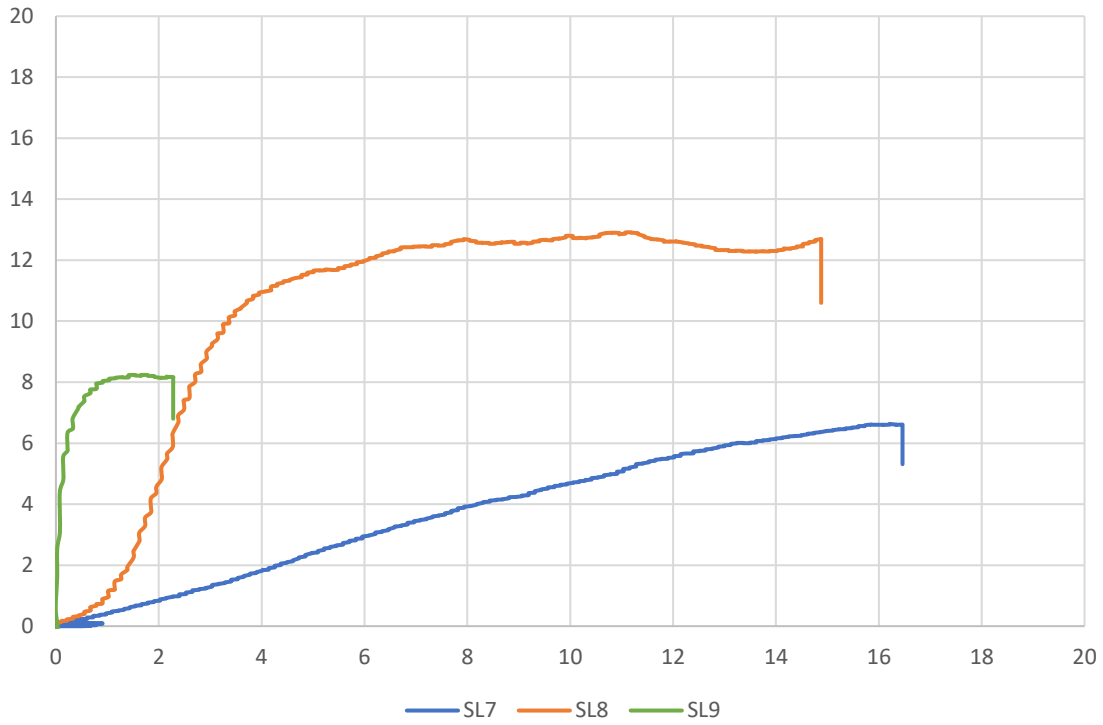
ABS Referensvärden



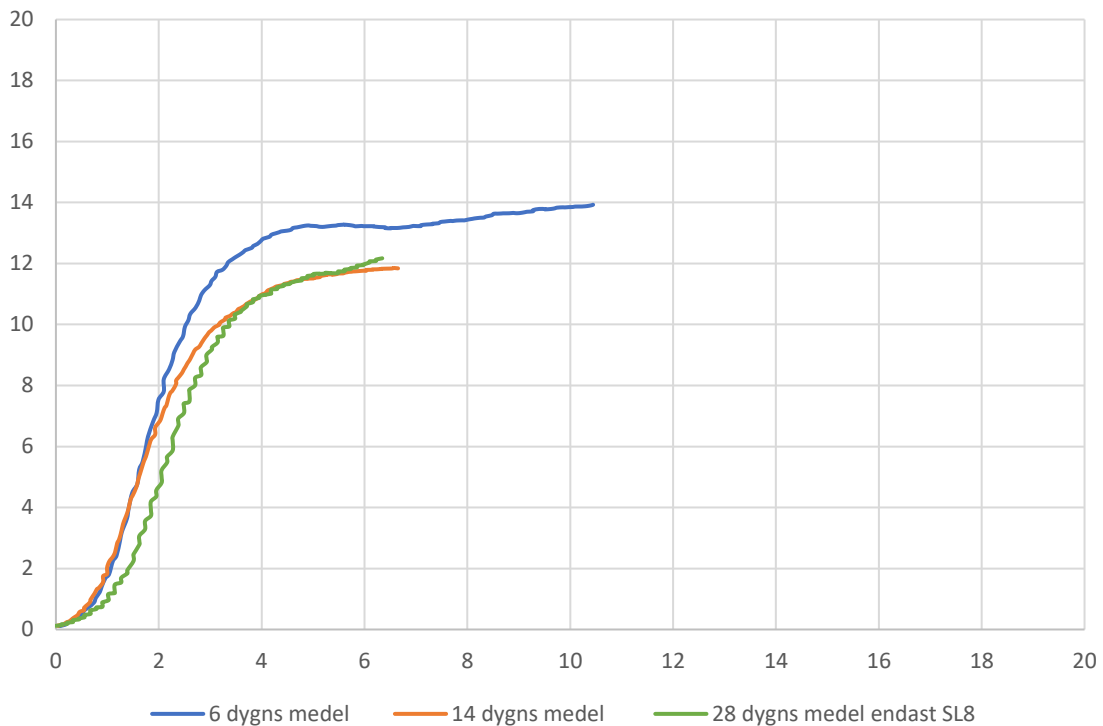
ABS, Luftlagrade



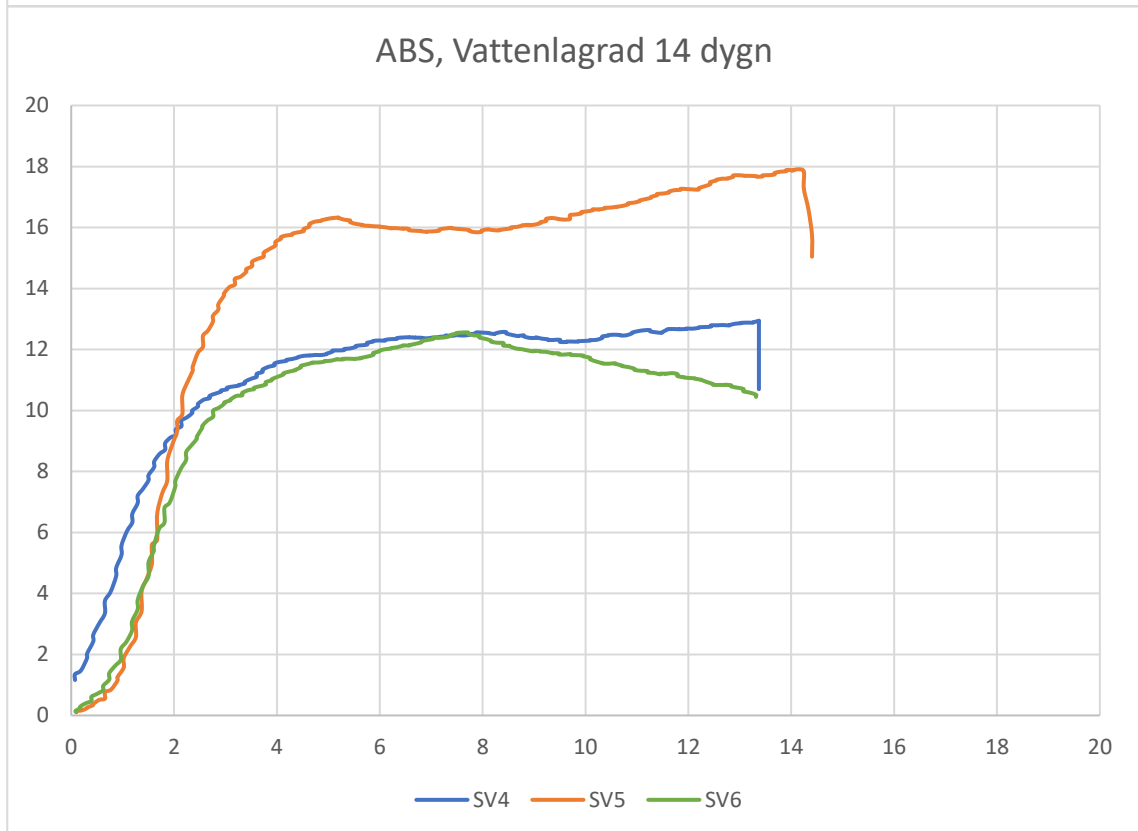
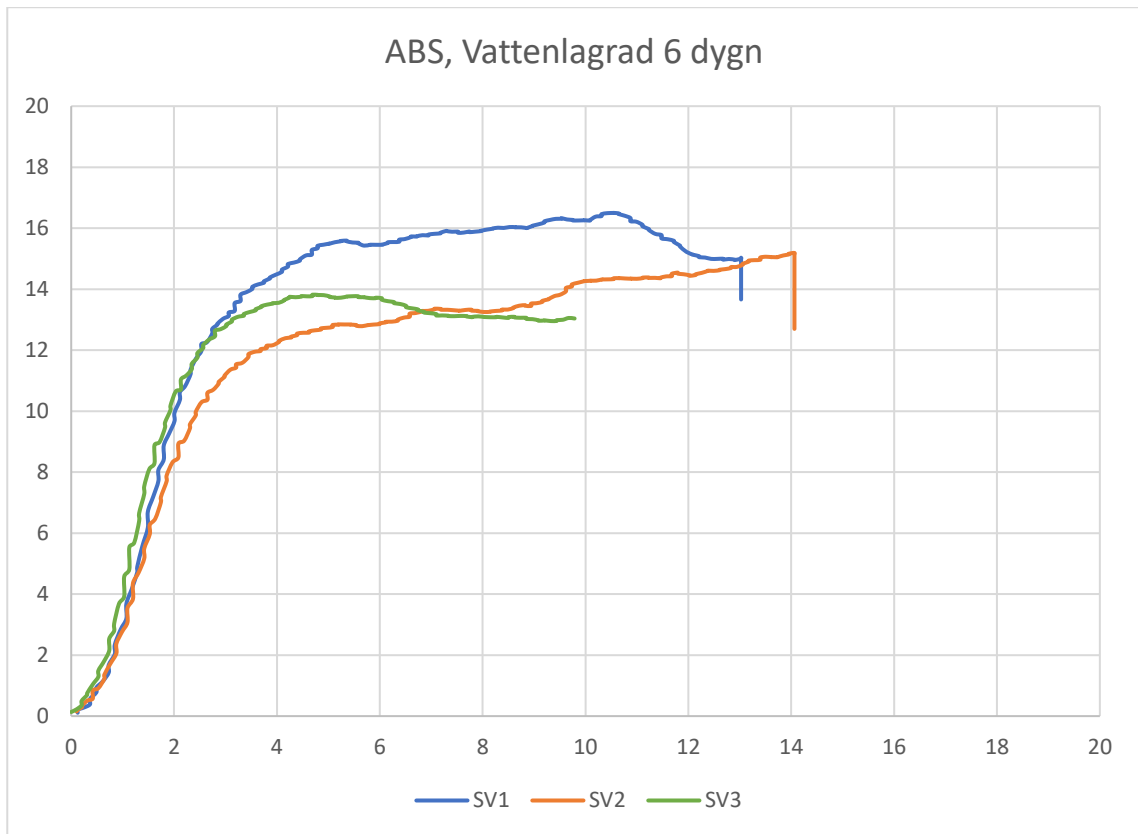
ABS, Luftlagrad 28 dygn



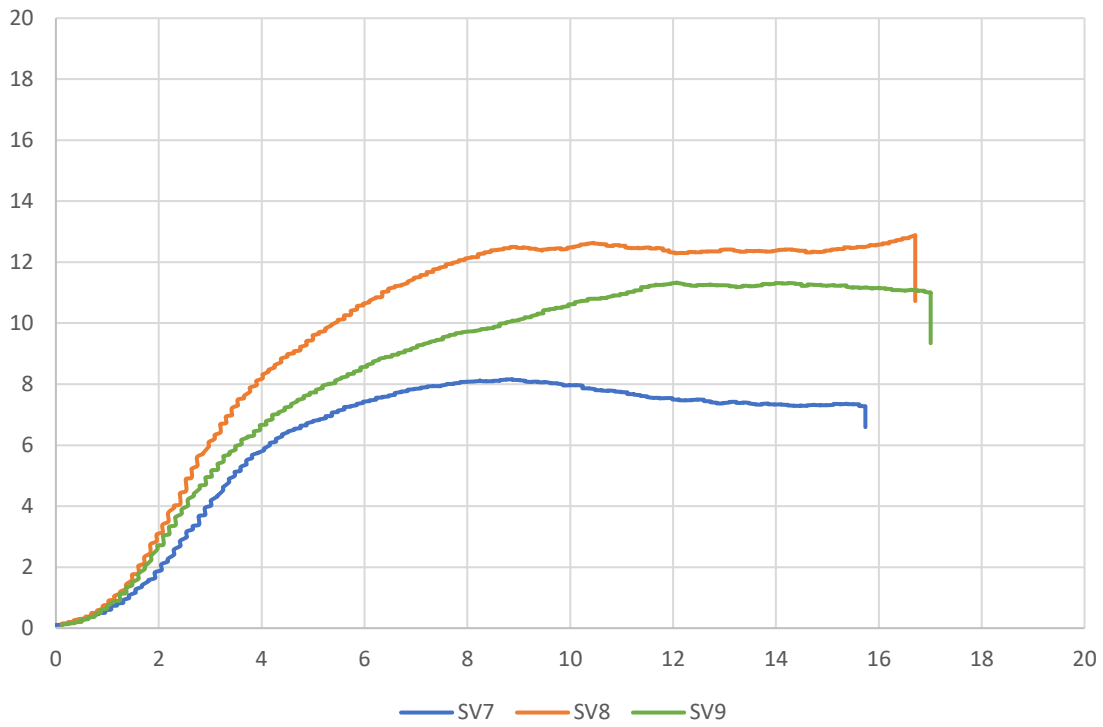
ABS, Luftlagrad medelvärden



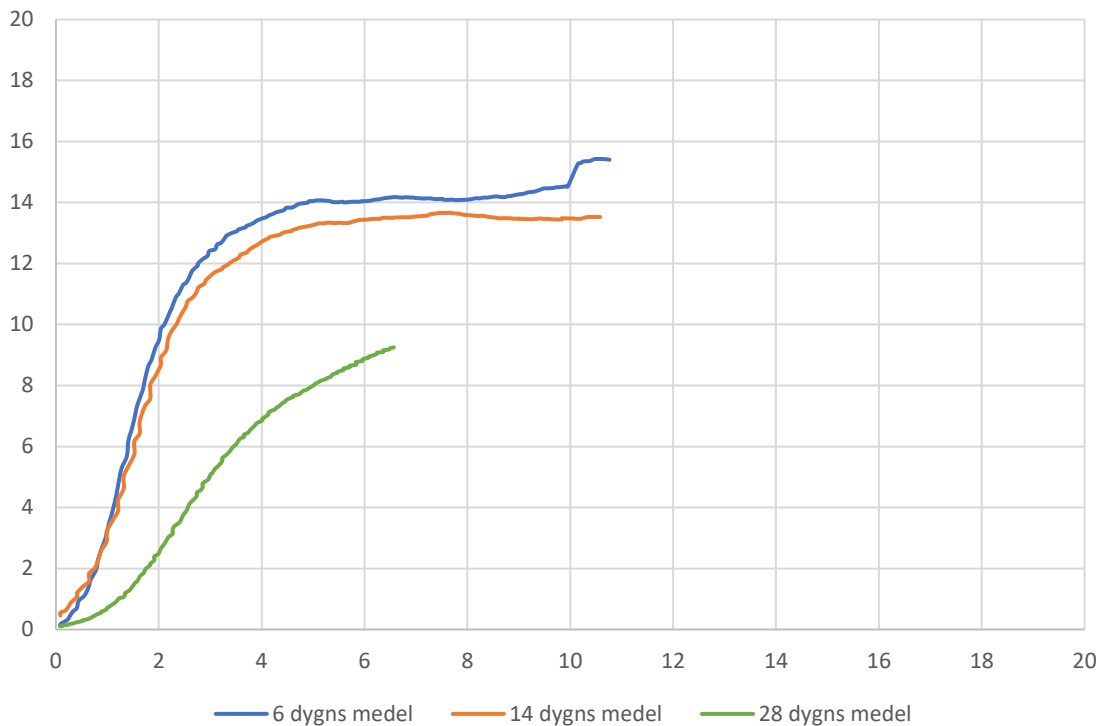
ABS, Vattenlagrade



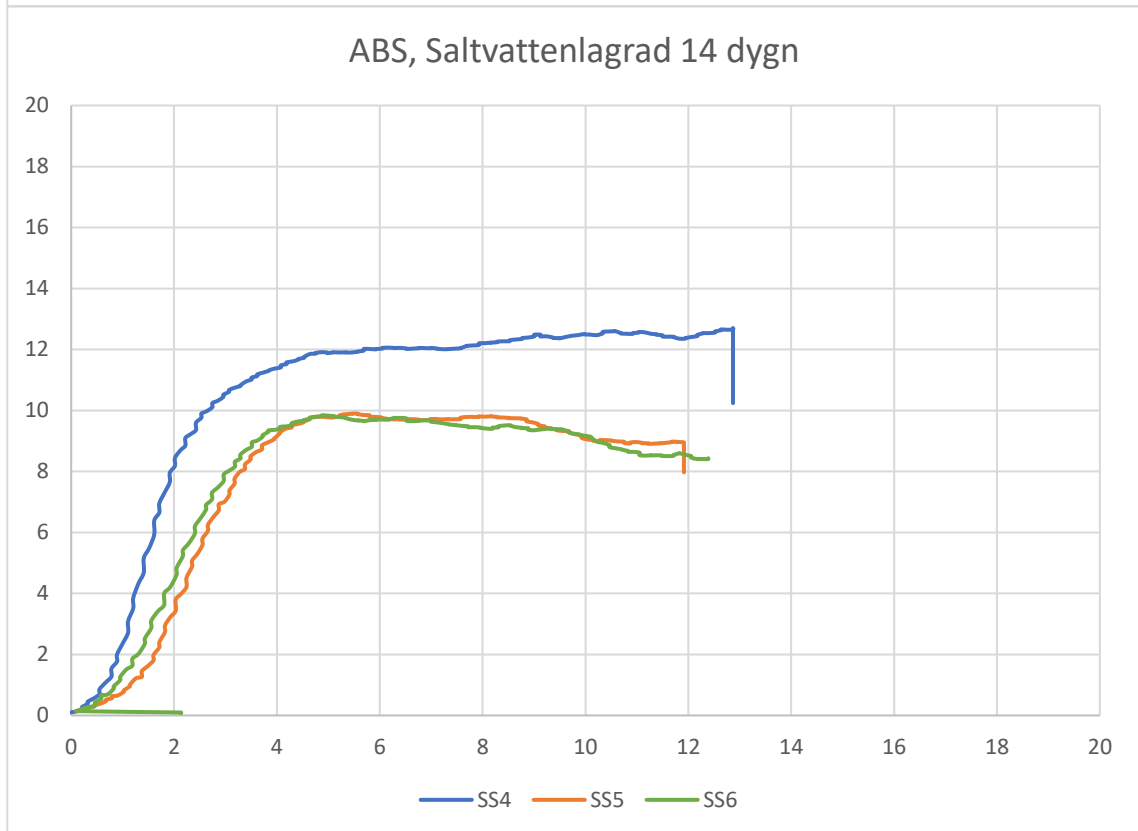
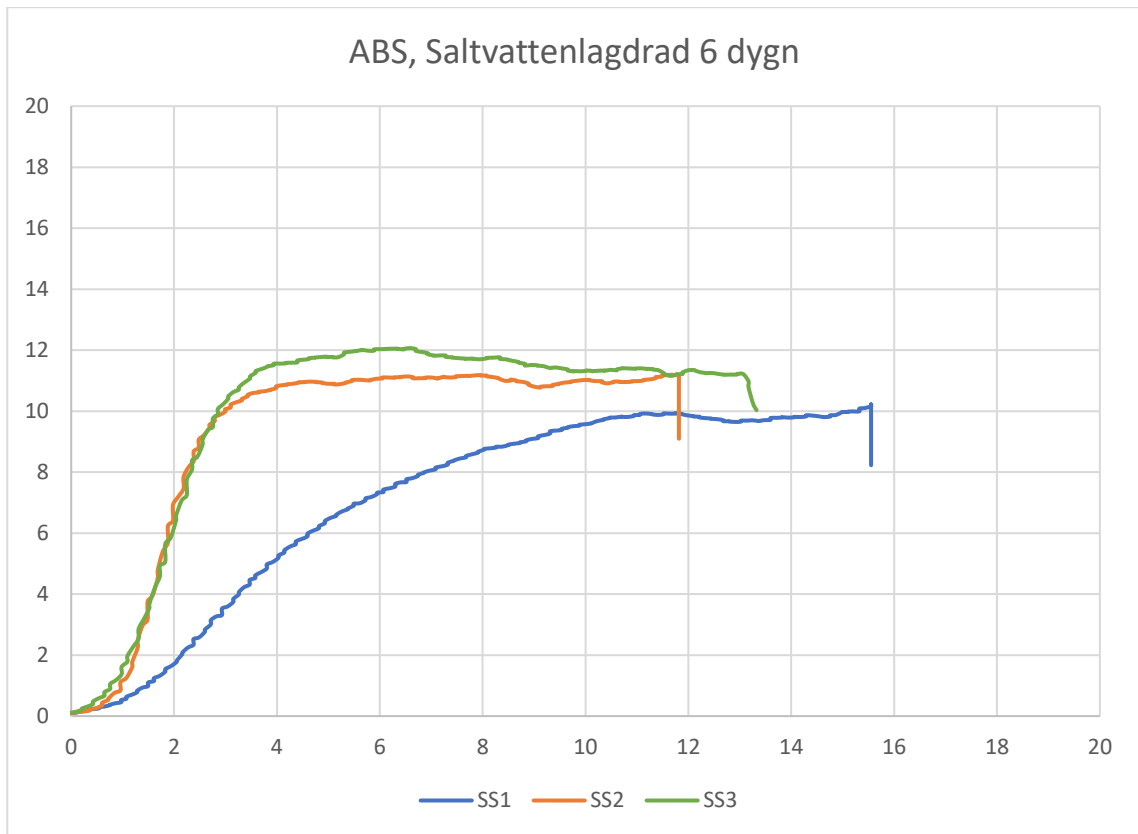
ABS, Vattenlagrad 28 dygn



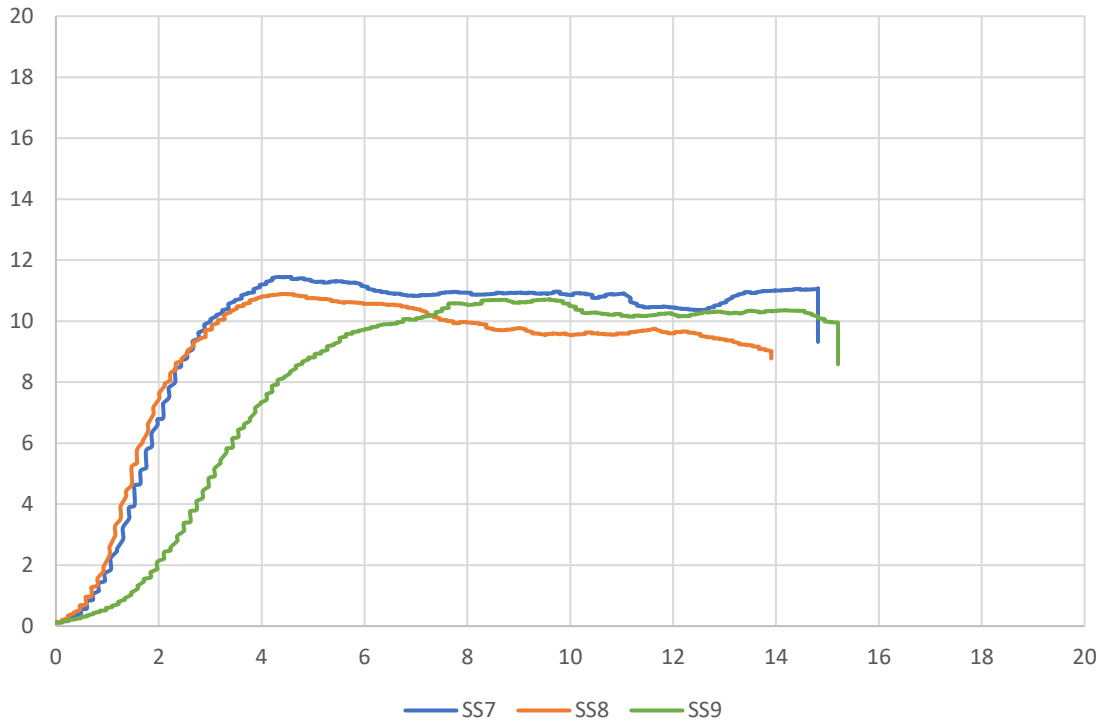
ABS, Vattenlagrad medelvärden



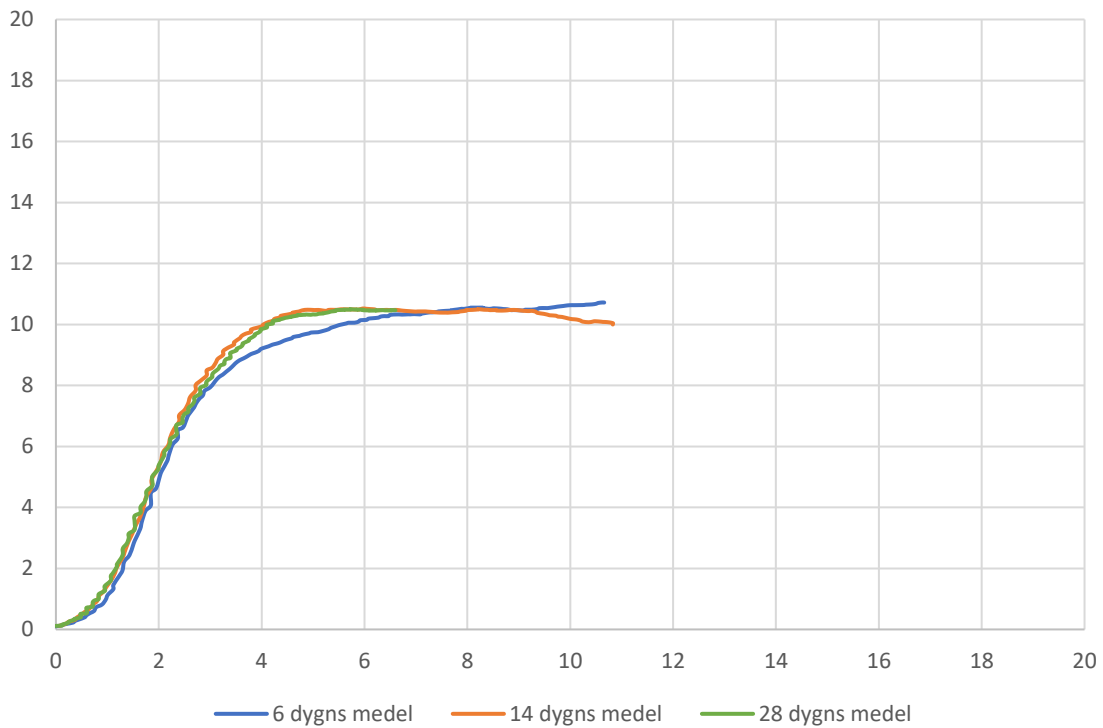
ABS, Saltvattenlagrade



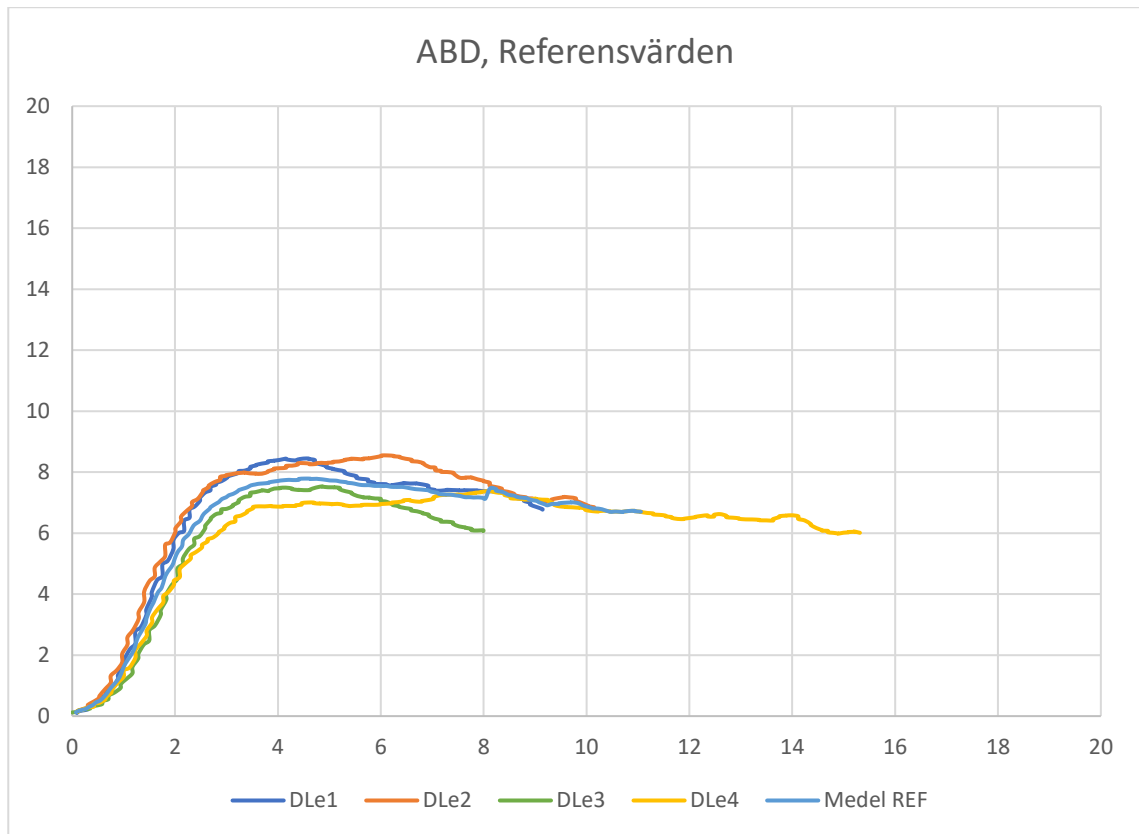
ABS, Saltvattenlagrad 28 dygn



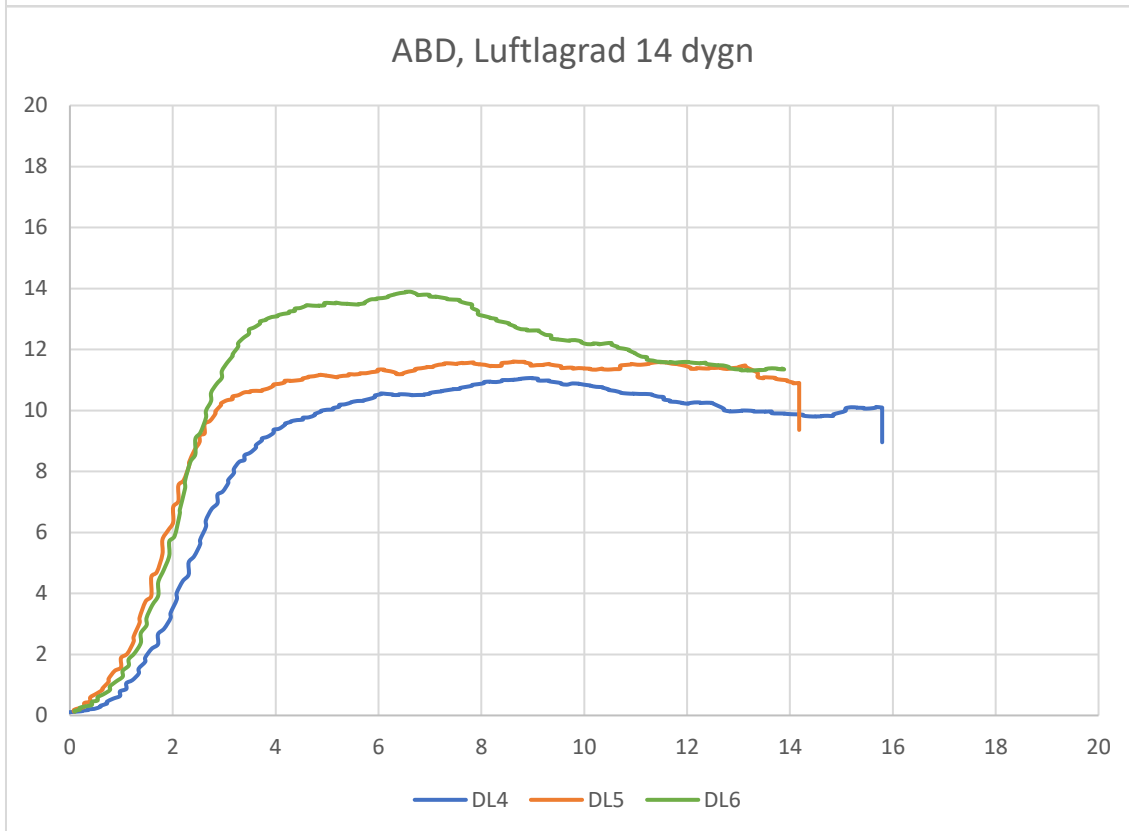
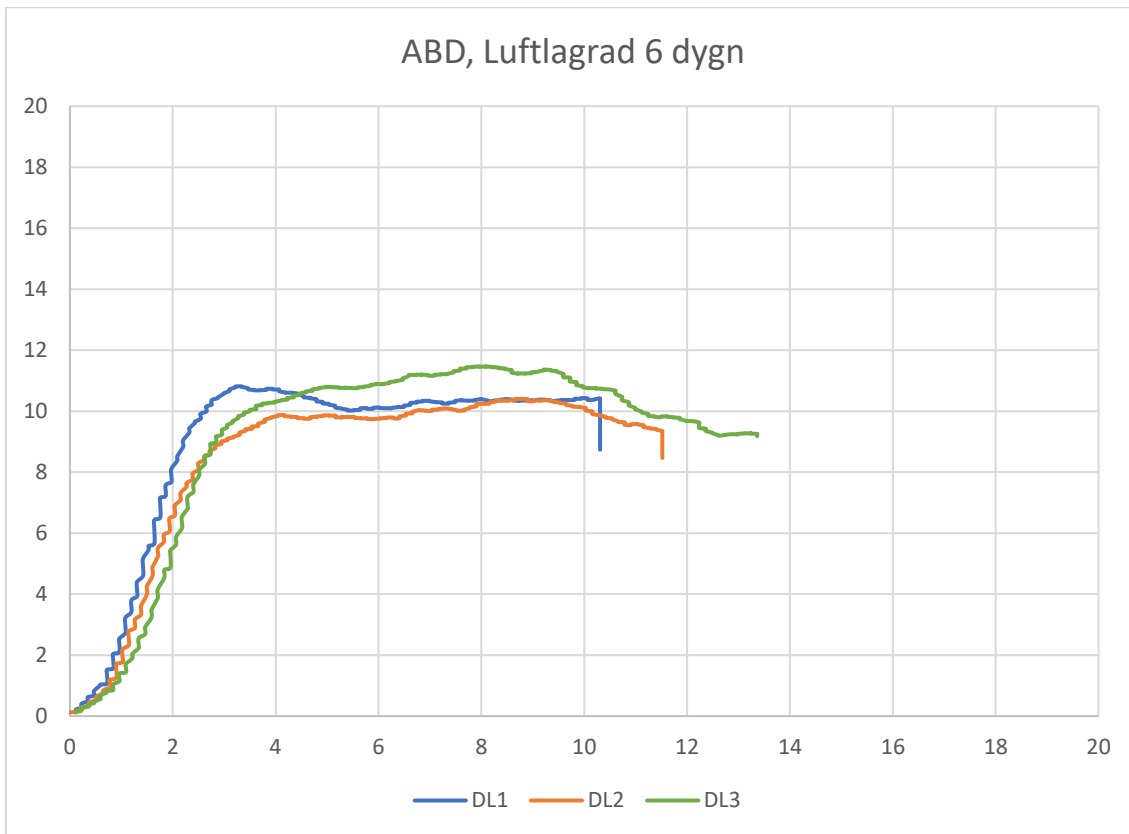
ABS, Saltvattenlagrad medelvärden



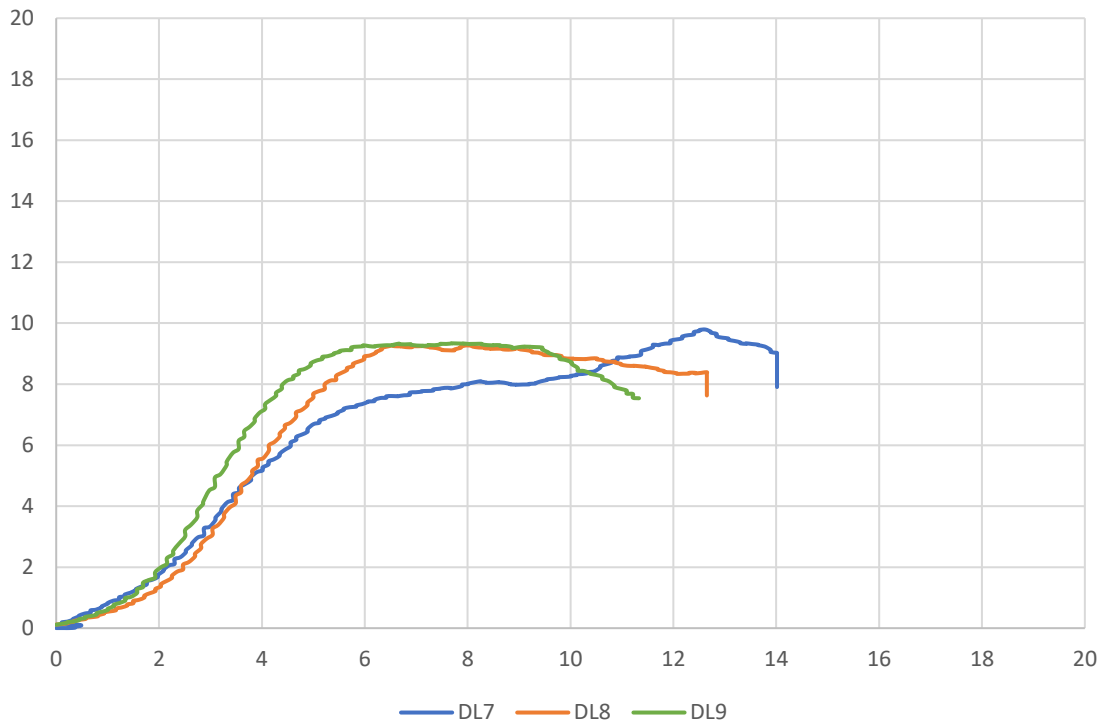
ABD, Referensvärden



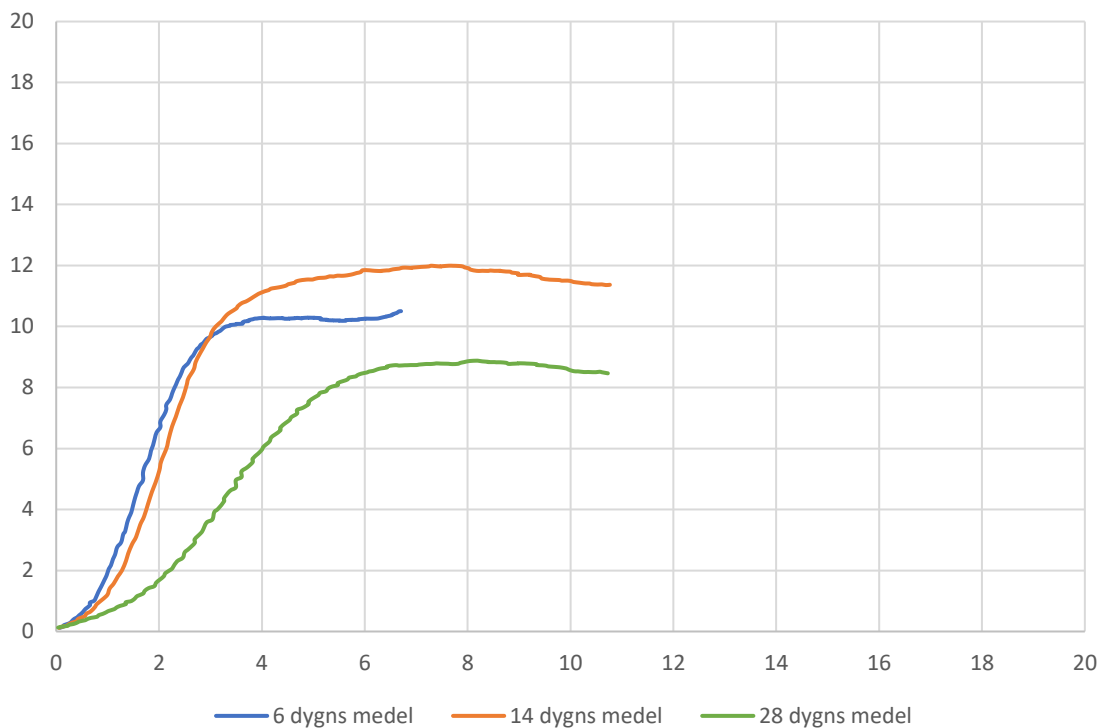
ABD, Luftlagrade



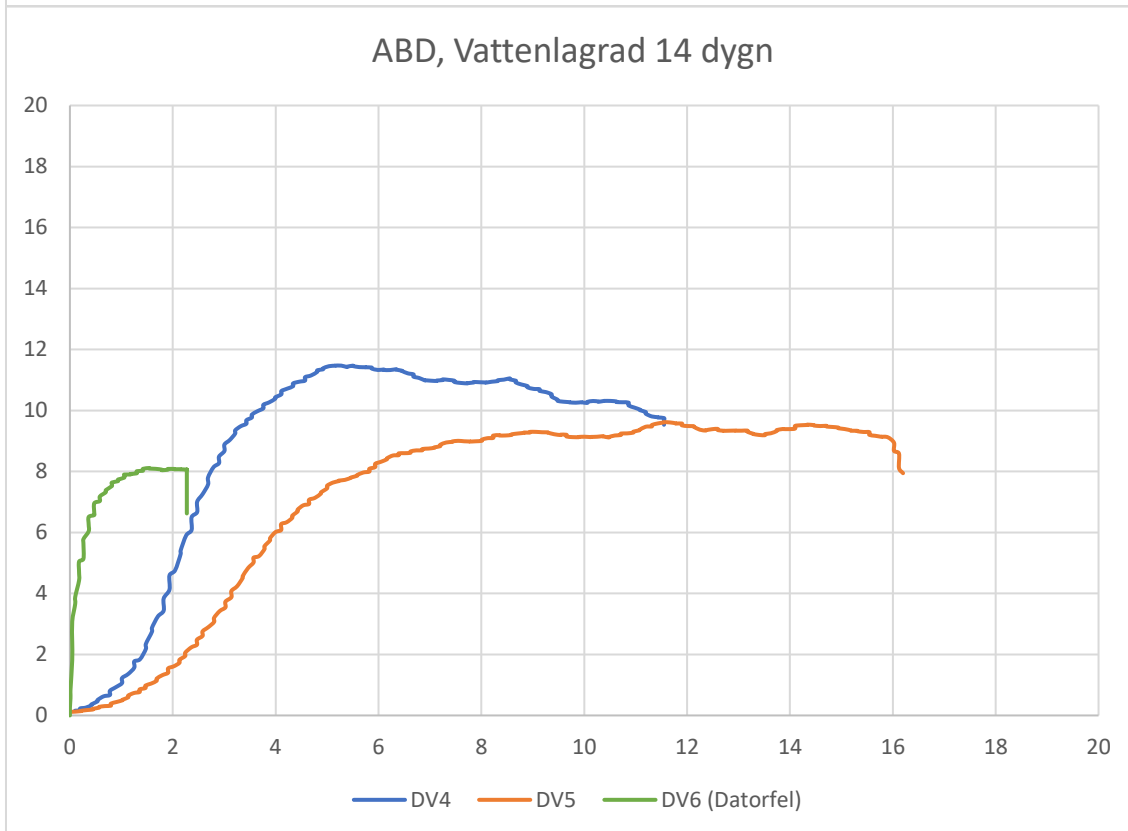
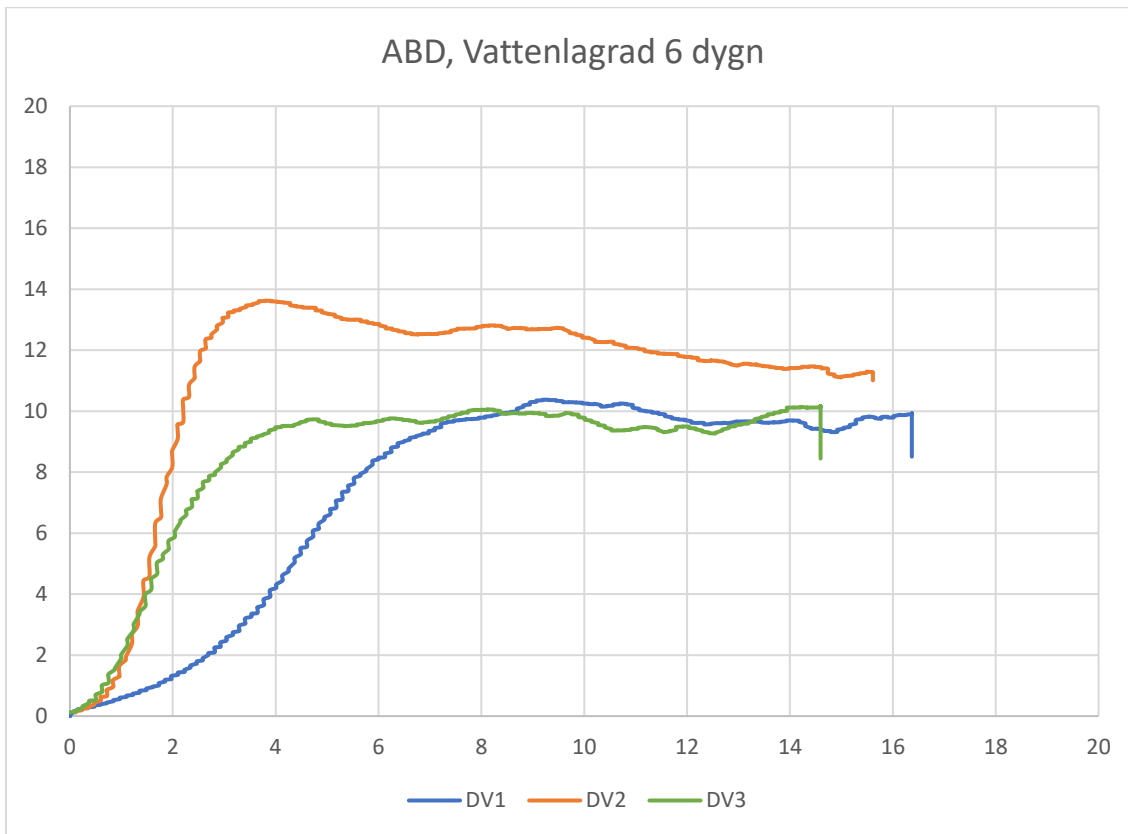
ABD, Luftlagrad 28 dygn



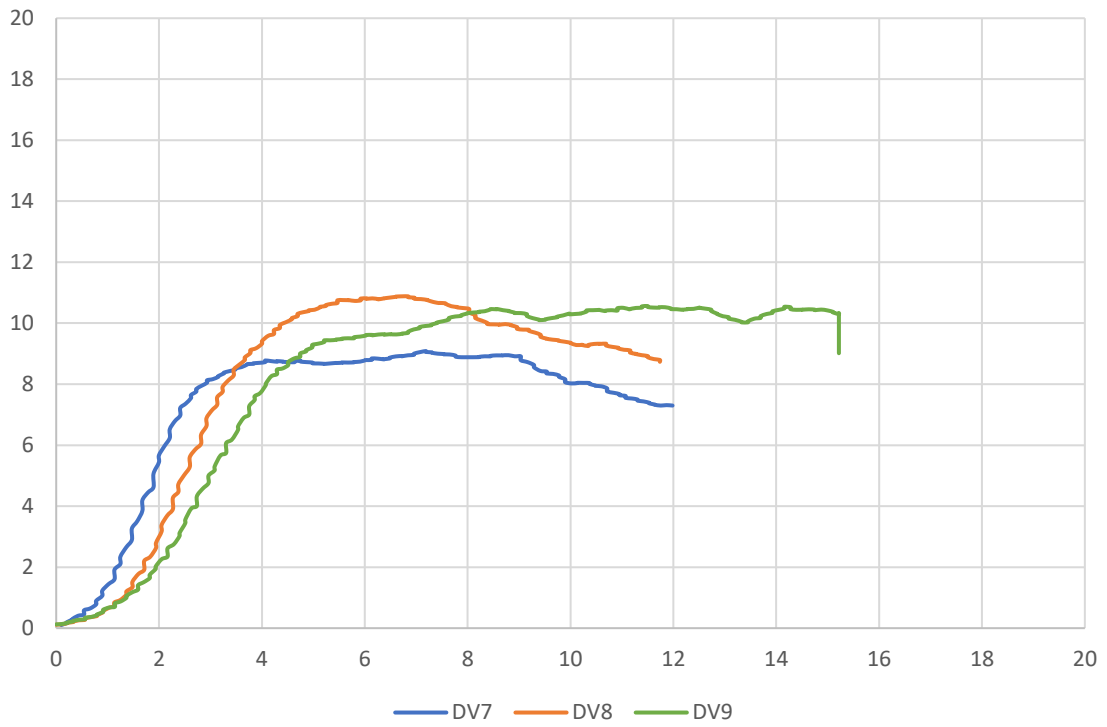
ABD, Luftlagrad medelvärden



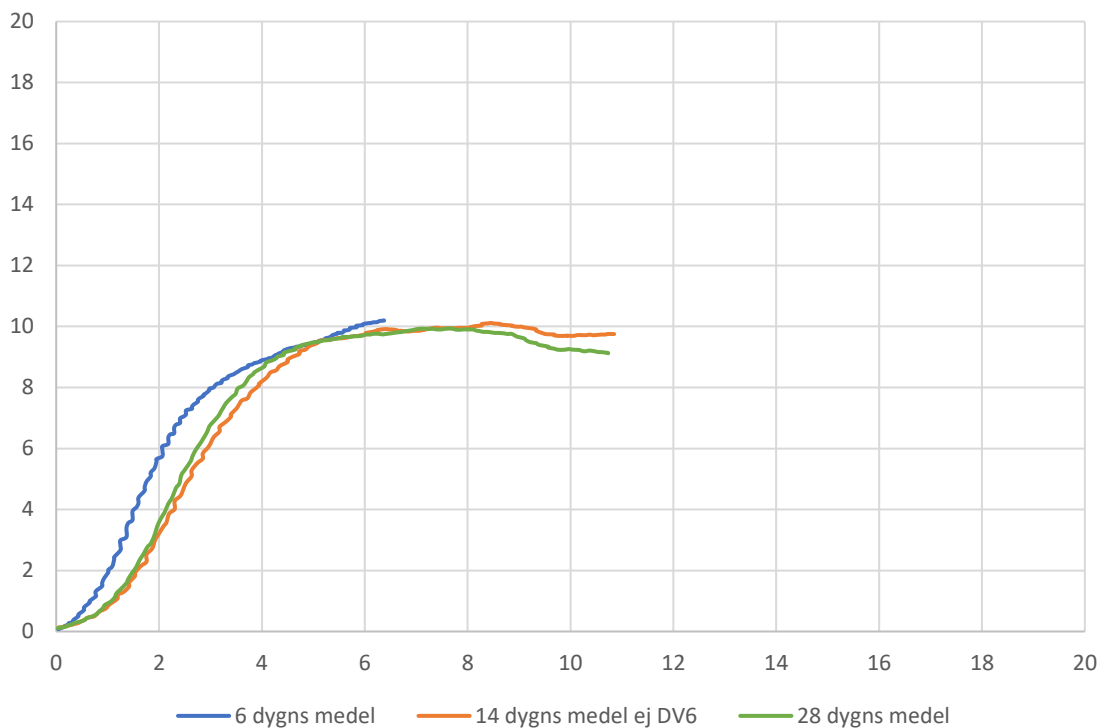
ABD, Vattenlagrade



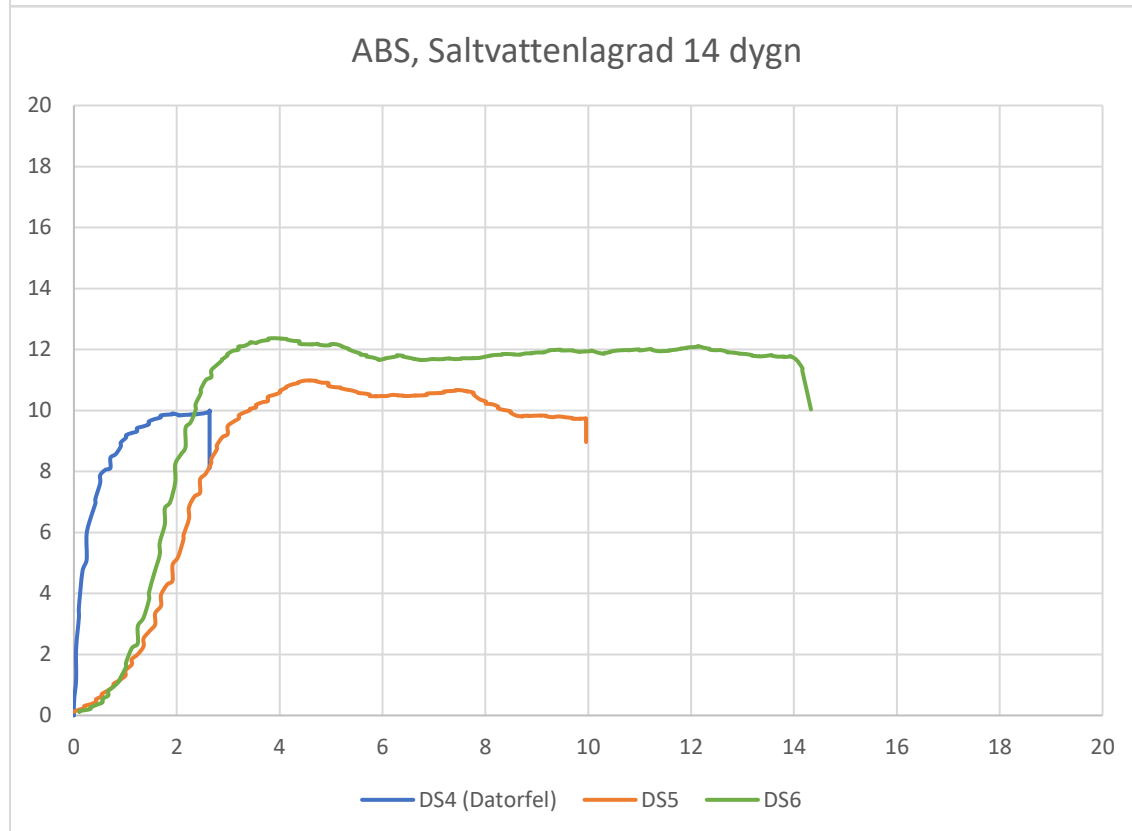
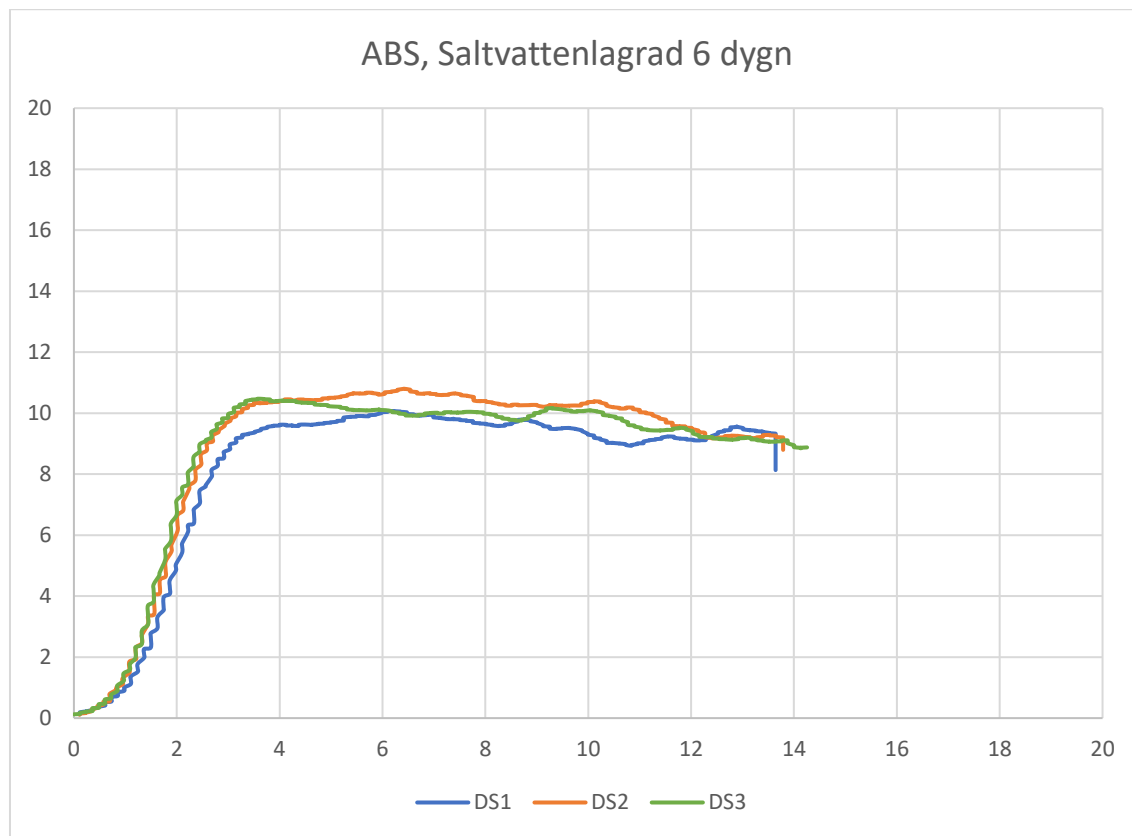
ABD, Vattenlagrad 28 dygn



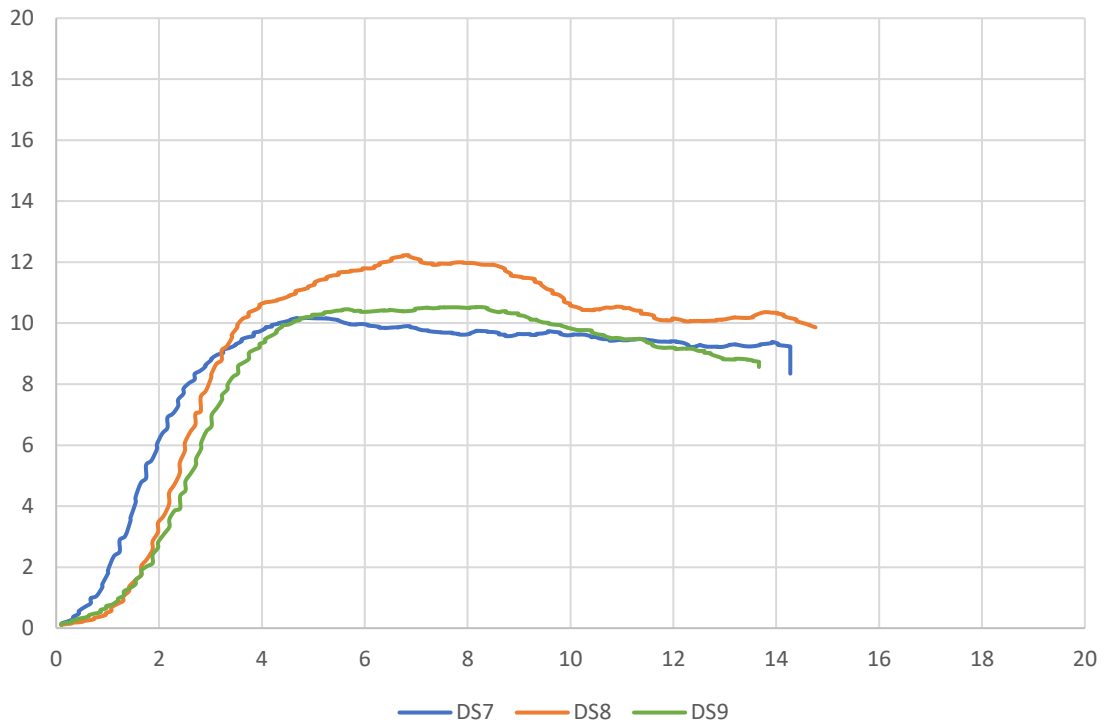
ABD, Vattenlagrad medelvärden



ABS, Saltvattenlagrade



ABD, Saltvattenlagrad 28 dygn



ABD, Saltvattenlagrad medelvärden

