



Soojade asfaltbetoonsegude tootmine tehasest vahustamismeetodil- piloteerimine Transpordiameti objektis

Tugimaantee nr 43 Aovere - Kallaste - Omedu km 0...5,4

Aruanne

Tallinn, 2023

Soojade asfaltbetoonsegu tootmine tehases vahustamismeetodil –
piloteerimine Transpordiameti objektil - tugimaantee nr 43 km 0...5,4. Aruanne

Töös osalesid:

Henri Prank – projektijuht, laboratoorsed tööd, AS Teede Tehnokeskus

Kristjan Lill – laboratoorsed tööd, Tallinna Tehnikaülikool

Markus Mänd – laboratoorsed tööd, AS Teede Tehnokeskus

Marko Pärn – projekti töövõtja-poolne koordinaator, Tref AS

Kristiina Lobrev – objekti ehitaja-poolne projektijuht, Tref AS

Marek Truu – andmete analüüs, aruande koostamine, AS Teede Tehnokeskus

Soojade asfaltbetoonsegude tootmine tehases vahustamismeetodil- piloteerimine Transpordiameti objektil

Tugimaantee nr 43 Aovere - Kallaste - Omedu km 0...5,4

Aruanne

1. SISUKORD

1.	SISUKORD	4
2.	SISSEJUHATUS	5
3.	UURINGU EESMÄRK	6
4.	PILOOTPROJEKTI NÕUDED JA KATSEPLAAN	7
5.	KATSEPLAAN	11
6.	KASUTATUD ANDMESTIK	12
7.	EHITUSTÖÖD	13
8.	ANDMETE VÕRDLUS	14
	Asfaltsegude omadused	14
	Bituumeni omadused	15
9.	KOKKUVÕTE	26

2. SISSEJUHATUS

Uuring on koostatud Teede Tehnokeskus AS poolt Tref AS tellimusel juhindudes Transpordiameti juhenddokumendist, kus eesmärk on analüüsida Töövõtja ja labori(te) poolt teostatud katsete tulemusi.

Soojade segude kasutamine on maailmas üha enam laienemas, eesmärgiga saavutada energiasäästu ja seeläbi positiivset keskkonnamõju aga ka mõju tervisele. Energiasääst saavutatakse tänu asjaolule, et segu modifitseeritakse selliselt, et seda saaks toota ja töödelda tavapärasest madalamatel temperatuuridel, mistõttu tootmisel materjalide kuumutamiseks vajalik energiakulu on väiksem kui kuumadel segudel. Kui tavapäraste kuumade segude efektiivne tootmistemperatuuride vahemik on tüüpiliselt 150-180C, siis soojade segude puhul on eesmärgiks tootmistemperatuuri ca 20-30% alandada (tootmistemperatuur 100-150C). Teine oluline aspekt temperatuuri alandamise on, et sellega väheneb märkimisväärselt bituumeniaurude eritumine nii tehases tootmisel kui paigaldamisel ja säästab sellega tehases ja eelkõige asfaldi laotamisel kuuma asfaldi vahetus läheduses töötavate inimeste tervist. Lisaks aurude vähenemisele, muudab madalam soojuskiirguse eritumine töökeskkonna ka temperatuuri mõttes tervist vähemkoormavaks. Teatud juhtudel võib sooja segu kasutamine anda muud kasu või eeliseid – nt. varasem avamine liiklusele, pikem veomaa, paigaldamine ebasoodsamate ilmaoludega vms. Samas võib see tähendada, et tootmistemperatuuri saab langetada vähem või ei saa üldse langetada.

Enamlevinud meetoditeks asfaldi temperatuuri alandamiseks on erinevad bituumeni lisandid (välja töötatud Saksamaal) ja bituumeni vahustamine (välja töötatud Norras), mis muudavad segu toodetavaks/töödeldavaks madalamatel temperatuuridel. Käesolevas uuringus on võrdluseks kuuma asfaldiseguga võetud vaatluse alla vahustamismeetodil modifitseeritud bituumeniga toodetud soe segu.

Ülevaatliku info soojadest segudest annab Euroopa Asfaldiliidu EAPA dokument „[The use of Warm Mix Asphalt](#)“.

3. UURINGU EESMÄRK

Lähteülesande kohaselt on pilootprojekti eesmärk võrrelda kuumalt ja soojalt toodetud asfaltbetooni omadusi ühel Transpordiameti objektil. Eelkõige keskendutakse tehasest võetud seguproovide võrdlemisele, kuid vaadeldakse ka paigaldatud segude omadusi.

Riigitee 43 Aovere-Kallaste-Omedu km 0,1-5,4 objektil teostati lisaks tavapärasele kuumale asfaltbetoonsegule ka sooja asfaltbetooni tootmine vahustamismeetodil. Lõigul km 0,1-2,6 paigaldati kuumalt toodetavat asfaltbetoonsegu ning lõigul km 2,6-5,4 paigaldati vahustamismeetodil toodetud soe asfaltbetoonsegu. Nii soojalt kui ka kuumalt toodetud asfaltbetoonsegu tulid samast asfaltbetoonitehasest.

4. PILOOTPROJEKTI NÕUDED JA KATSEPLAAN

Uuringu koostamiseks koguti (vajadusel võeti proovid ja katsetati) lähteülesande kohaselt vajalikud andmed:

- Toodetud kuuma segu (nn referentssegu) tootmisraportid
- Toodetud sooja segu tootmisraportid

Tootmisraportitel peab olema nähtav segu tootmiseks kasutatud temperatuurid, kasutatud täitematerjalid, lisandid ning sideaine kogused. Segu tootmiseks kasutatud temperatuuride fikseerimise eesmärgiks on tekitada alus kuumalt ja soojalt segatud segude tootmistemperatuuride võrdlemiseks.

- Toodetud kuuma segu kütusekulu aruanne
- Toodetud sooja segu kütusekulu aruanne

Katselõikudele tarnitud/toodetud referentssegu ja soojalt valmistatud segude korral tuleb esitada kogu objekti lõikes nii soojalt kui kuumalt toodetud asfaltbetoonsegu kohta tehase kütuse kulu andmed päevade kaupa, mis peavad võimaldama kütuse kulu taandamist ühe tonni toodangu kohta, st esitada tuleb ka toodangu kogumaht (tonnid).

Kuum ja sooja asfaltsegu objektiivse võrdluse huvides ei tohtinud soojalt valmistatud asfaltsegu koostises (retseptis) teha muudatusi võrreldes referentsseguga (kuum asfaltbetoonsegu).

Asfaltbetooni tehases mõõdeti nii soojalt kui kuumalt toodetud asfaltbetooni tootmise ajal ajutise ilmajaamaga sademete hulka, õhutemperatuuri, lisaks tuule kiirust. Ajutise ilmajaama eesmärgiks on pikema aja jooksul tehtud mõõtmiste baasil luua võrreldav seos ilmastiku tingimuste ja kütusekulu ning toodetava segu temperatuuri vahel.

Nii referentssegu (kuum asfaltbetoonsegu) kui ka soojalt valmistatud segudele määrati tihendatavus vastavalt standardile EN 12697-10 kas Marshalli tihendajaga või güraatortihendajaga. Segu tihendatavuse katsed viidi läbi vastavalt standardi EN 12697-10 jaotisele 6.1.1 või 6.2, sõltuvalt valitud tihendusmeetodist. Nii kuumalt kui ka soojalt toodetava segu katseid korraldi kolmele seguproovile, mis võeti juhuslikult segu tootmise käigus. Segu proovide võtmise ajaline vahe oli vähemalt 60 minutit.

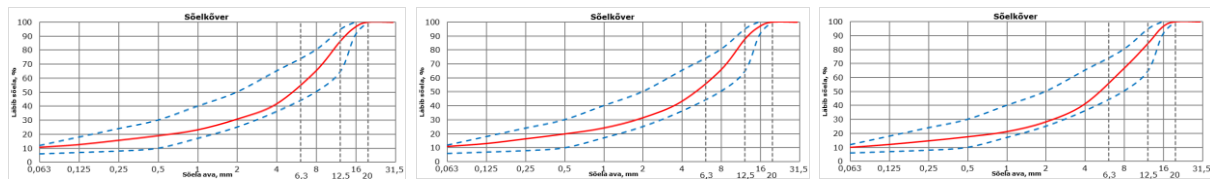
Referentssegu (kuum asfaltbetoonsegu) ja soojalt valmistatud segu proov võeti tehastest vastavalt standardile EN 12697-27 ning fikseeriti nende temperatuurid. Segude proovid asetati vahetult pärast proovide võtmist tootmistemperatuurist 10°C madalamale eelsoojendatud laboriahju. Tootmistemperatuur määrati vahetult tootmise käigus vastavalt standardile EN 12697-13 kontakttermomeetriga. Segudest valmistati proovikehad vastavalt eelmises jaotises valitud tihendusmeetodiga. Katseplaanis välja toodud proovide tihendamiseks vajalik seade oli asfalditehase juures. Enne proovikehade valmistamist hoiti seguproove ca 45 minutit ahjus, mille temperatuur on 10°C madalam tootmiseks kasutatud temperatuurist. Selle eesmärk oli jäljendada mõningast segu jahtumist ja bituumeni vananemist alates tootmisest kuni paigaldamise alguseni ilma vahepeal maha jahtumata ja uuesti üles soojendamata.



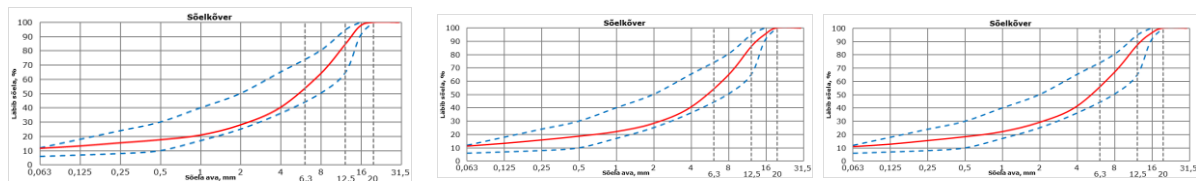
Joonis 1. Tihendatud sooja segu proovikehad

Soojade asfaltbetoonsegude tootmine tehases vahustamismeetodil –
piloteerimine Transpordiameti objektil - tugimaantee nr 43 km 0...5,4. Aruanne

Lisaks tihendatavusele määrati referentssegu ja soojalt valmistatud segude
sideaine sisaldused ning terastikulised koostised vastavalt standarditele EN 12697-
1 ja EN 12697-2.



Joonis 2. Kuumade segude terastikulised koostised



Joonis 3. Soojade segude terastikulised koostised

Referentssegust ja soojalt valmistatud segust eraldati sideaine vastavalt
standardile EN 12697-3. Segudest eraldatud sideainetele ning referentsiks
tootmise käigus asfalditehase bituumeni mahutist võetud bituumenitele määrati
alljärgnevad omadused:

- Penetratsioon – EN 1426;
- Pehmenemistäpp – EN 1427;
- Kompleksmoodul ja faasinurk temperatuuridel 46, 52, 58 ja 64°C – EN 14770;
- Vanandamine PAV meetodil – EN 14769;
- Paindejäikus (PAVis vanandatud proovile) pärast 1 ja 72 tundi konditsioneerimist – EN 14769 ja EN 14771;

Tehase bituumeni mahutist võetud proovile määrati kompleksmoodul ja faasinurk
eelpool viidatud temperatuuridel pärast RTFOT vanandamist (EN 12607-1) ning
paindejäikus eelpool viidatud tingimustel pärast RTFOT ja PAV vanandamist.

Kompleksmooduli, paindejäikuse ja PAV vanandamise katsetamisega eesmärk oli
saada täpsemaid andmeid bituumeni omaduste kohta kõrgetel ja madalatel
teekatte temperatuuridel ning tuvastada, kuidas bituumen madalamatel
temperatuuridel toodetud segus vananevad ning millisel määral.

Mõned tähelepanekud:

- Soe segu on jäigem/tatisem (nagu SMA või pisut jahtunud segu)
- Kui kuuma seguga jäi tambipaber „väga kinni“ alles 2x100 lööki juures, siis sooja seguga jäi „väga kinni“ juba 2x25 lööki juures (ilmselt seotud „tatisusega“)
- Sooja segu proovikehi välja surudes jäi vormi seintele mastiksi moodi sideainet (vt pilt allpool)
- Kuuma segu 2x5 lööki proovikehasid pidi ümber keeramiseks kelluga alt toetama, muidu oleks segu vormist välja kukkunud. Sooja segu puhul sai pärast esimest 5 lööki ilma abivahenditeta proovikeha ümber keerata;
- Proovivõtt laadurikopast tundus sooja seguga füüsiliselt raskem.

Eeltoodu viitab, et vahustamise tehnoloogial toodetuna võib AC 16 surf segu „tatisus“ mõnevõrra raskendada paigaldusprotsessi väiksemate tööde puhul, kus palju roobi ja labidaga töötada tuleb. Vt foto allpool.



Joonis 4. Soe segu kleepus vormist väljasurumisel veidi vormi seintele

5. KATSEPLAAN

Katsed viidi läbi vastavalt katseplaanile:

Tabel 1. Katseplaan

Omadus	Standard	Kuumalt segatud asfaltsegu (referents)	Soojalt segatud asfaltsegu	Lisamärkus
Asfaltsegu katsed				
Sideaine sisaldus ja terastikuline koostis	EN 12697-1 ja -2	X	X	Tuleb määrata mõlemale segule tootmise käigus juhuslikult valitud kolmele proovile
Tihendatavus	EN 12697-10 (jaotis 6.1.1 või 6.2)	X	X	
Tehase mahutist võetud bituumeni proov				
Penetratsioon	EN 1426	X	X	Igale bituumeni tarnele, millega kuumalt ja soojalt segatud segusid toodeti
Pehmenemistäpp	EN 1427	X	X	
Kompleksmoodul ja faasinurk (pärast RTFOT-i)	EN 12607-1	X	X	
	EN 14770			
Paindejäikus pärast 1 ja 72 tundi konditsioneerimist (pärast RTFOT ja PAV vanandamist)	EN 12607-1	X	X	
	EN 14769			
	EN 14771			
Segust eraldatud bituumeni proov				
Penetratsioon	EN 1426	X	X	Igale seguproovile
Pehmenemistäpp	EN 1427	X	X	
Kompleksmoodul ja faasinurk	EN 14770	X	X	
Paindejäikus pärast 1 ja 72 tundi konditsioneerimist (pärast PAV vanandamist)	EN 14769	X	X	
	EN 14771			

6. KASUTATUD ANDMESTIK

Töös võeti proovid ja viidi katsetamiseks Teede Tehnokeskus ka Tallinna Tehnikaülikooli laborisse. Analüüsis on kasutatud järgmisi katseprotokolle:

- Katseprotokollid nr 23/844, 23/845, 23/846, 23/847, 23/848, 23/849, 23/850, 23/851
 - Bituumeni omadused madalatel temperatuuridel. Pikendatud BBR meetod / EVS-EN 14771:2012 + LS-308 + AASHTO M320
 - Bituumeni omadused kõrgetel teekatte temperatuuridel. DSR katse / EVS-EN 14779:2012 + AASHTO M320
- Katseprotokoll nr 1661/23
 - Asfaltsegu sideaine sisalduse ja terakoostise määramine (massierinevuste meetod, automaatne seade) EVS-EN 12697-1:2020, EVS-EN 12697-2:2015+A1:2019
- Katseprotokoll nr 1663/23
 - Mahumassi (EVS-EN 12697-6:2020, meetod B ja D) ja tihendatavuse (*EVS-EN 12697-10:2017) määramiseks valmistati laboratoorsed proovikehad EVS-EN 12697-30:2018 (2x5 lööki, 2x15 lööki, 2x25 lööki, 2x35 lööki, 2x50 lööki, 2x100 lööki, tihendamistemperatuur 120°C kuni 160°C) järgi.

Lisaks kasutati töös järgmisi ehituse käigus rutiinselt kogutud andmeid:

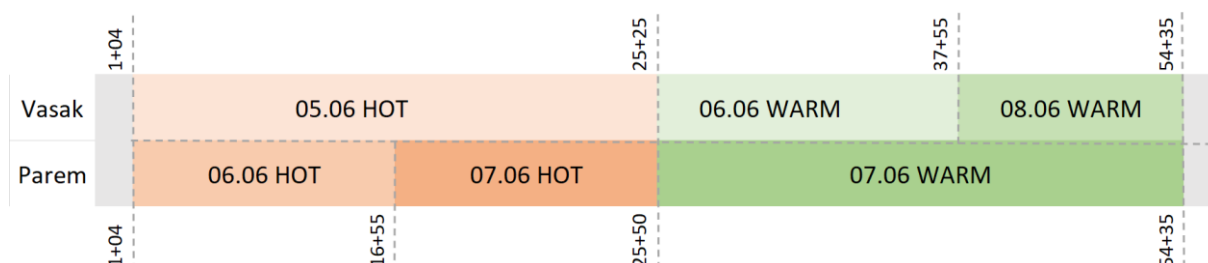
- Ehitustööde päevikud 05.06, 06.06, 07.06 ja 08.06.2023
- Tooteraportid autode kohta 05.06, 06.06, 07.06 ja 08.06.2023
- Toodangu raport (segu komponentide kogused partiide kaupa, temperatuurid)
- Vahetuse aruanded 05.06, 06.06, 07.06 ja 08.06.2023
- Mõõtmisaruanded: teekatte tasasus, teekatte haardetegur, teekatte jäävpoorsus ja tihendustegur (kahes osas: eraldi kuum segu ja soe segu)
- Ehitustööde käigus võetud proovide katseprotokollid (nt. Tallinna Teed, rattaroopa katse)
- Kütusekulu andmed: Aovere- Kallaste- Omedu pilootprojekt

7. E HITUSTÖÖD

Ehitustööde päevikute põhjal paigaldati kuum ja soe asfaltsegu Vögele S1800-3i laoturiga kasutades kattekihi temperatuurimõõtmiseks Vögele RoadScan ja temperatuuri ühtlustamiseks asfaldisegu söötjat Vögele MT3000-2i Offset alljärgnevalt:

Tabel 2. Kuuma ja sooja segu paigaldus

Kuupäev	Segu	Vahemik
05.06.2023	AC 16 surf 70/100 C25 HOT	PK 1+04 - 25+25v
06.06.2023	AC 16 surf 70/100 C25 (W) AC 16 surf 70/100 C25 HOT	PK 25+25-37+55v (katkestus) PK 1+04-16+55p
07.06.2023	AC 16 surf 70/100 C25 HOT AC 16 surf 70/100 C25 (W)	PK 16+55-25+50p PK 25+50-54+35p
08.06.2023	AC 16 surf 70/100 C25 (W)	PK 37+55-54+35v



Joonis 5. Paigaldusskeem

06.06 katkestati sooja segu paigaldus tehase tehniliste probleemi tõttu.

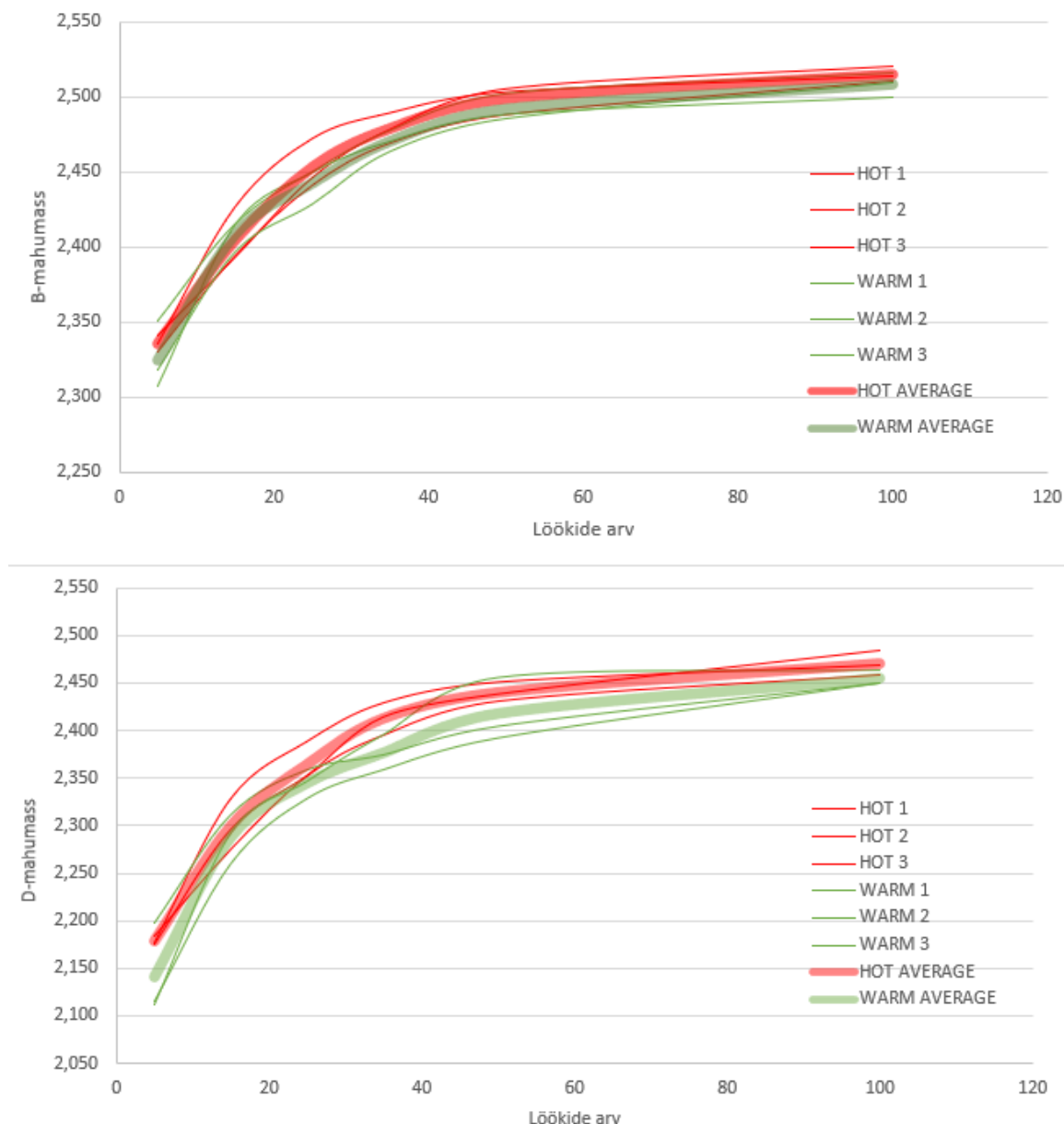
Tihendamisel kasutati rulle Hamm HD14, Hamm DV +90i VO-S ja Hamm HD+80i.

Lisaks paigaldati 08.06 ja 09.06 asfaltsegu AC 16 surf 70/100 C25 HOT laiendustel ja bussipeatustes.

8. ANDMETE VÕRDLUS

Asfaltsegude omadused

Asfaltsegude omaduste mõttes paistavad sideaine sisalduse ja terakoostise andmete põhjal on kuum ja soe segu sisuliselt ühesugused – sideaine sisaldused jäävad mõlemal juhul vahemikku 5,1...5,3% ning terastikulised koostise erinevused jäävad sõelal 0,063mm 1 pp (protsendipunkti), sõelal 16mm 2 pp ja vahepealsetel sõeltel 3 pp sisse.



Joonis 6. Kuuma ja sooja segu B- ja D mahumasside võrdlus

Soojade asfaltbetoonsegude tootmine tehases vahustamise meetodil –
piloteerimine Transpordiameti objektil - tugimaantee nr 43 km 0...5,4. Aruanne

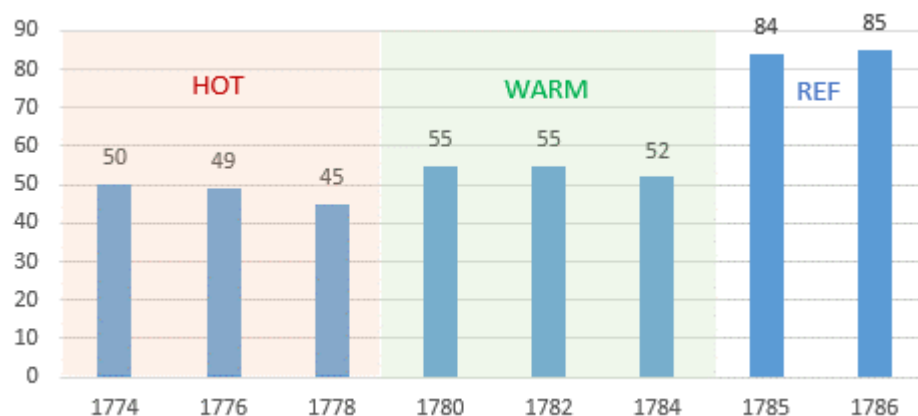
Rutiinse kontrolli käigus saadud asfaltsegude deformatsioonikindluse näitajad on samuti sisuliselt ühesugused (ainult 1 katsepaar).

Tabel 3. Kuuuma ja sooja segu proovide deformatsioonikindluse näitajate võrdlus

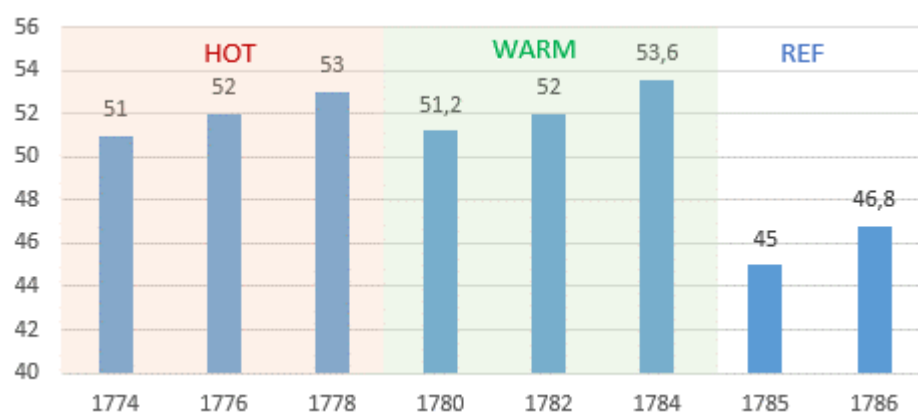
Näitaja	HOT	WARM
Roobastumise tõus 1000 koormustsükli kohta, WTS _{air} , mm	0,17	0,12
Suhteline roopasügavus PRD _{air} 10 000 tsükli juures, %	9,7	8,3
Maksimaalne roopasügavus RD _{air} 10 000 tsükli juures, mm	5,9	5

Bituumeni omadused

Bituumeni omadustest määrati penetratsioon ja pehmenemistäpp valmis segust ekstraheeritud bituumenile. Sooja segu bituumeni penetratsioon langes keskmiselt referentsbituumeni tasemelt 58 tasemele 54, samas kui kuuma segu puhul keskmiselt tasemele 48. Pehmenemistäpp seevastu tõusis mõlemal juhul tasemele 52.



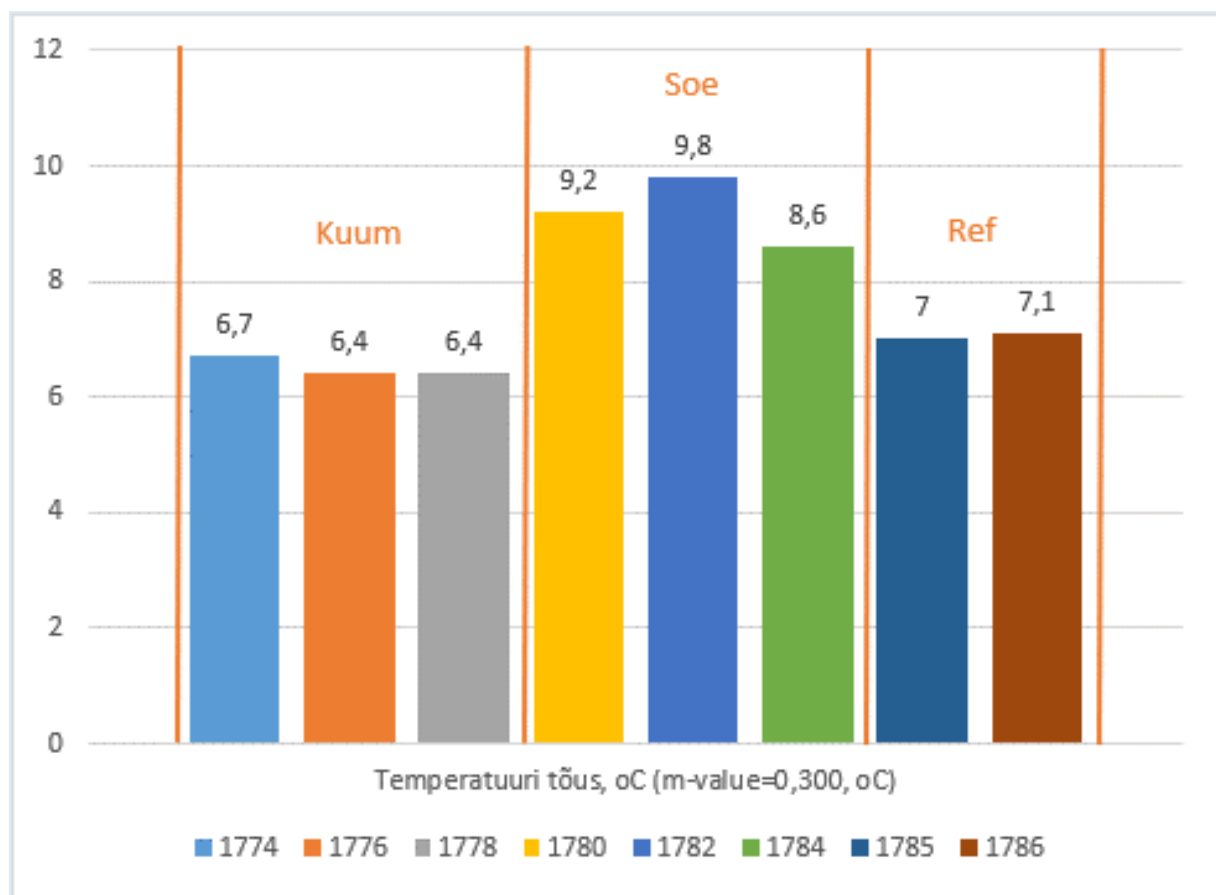
Joonis 7. Bituumeni penetratsiooni võrdlus



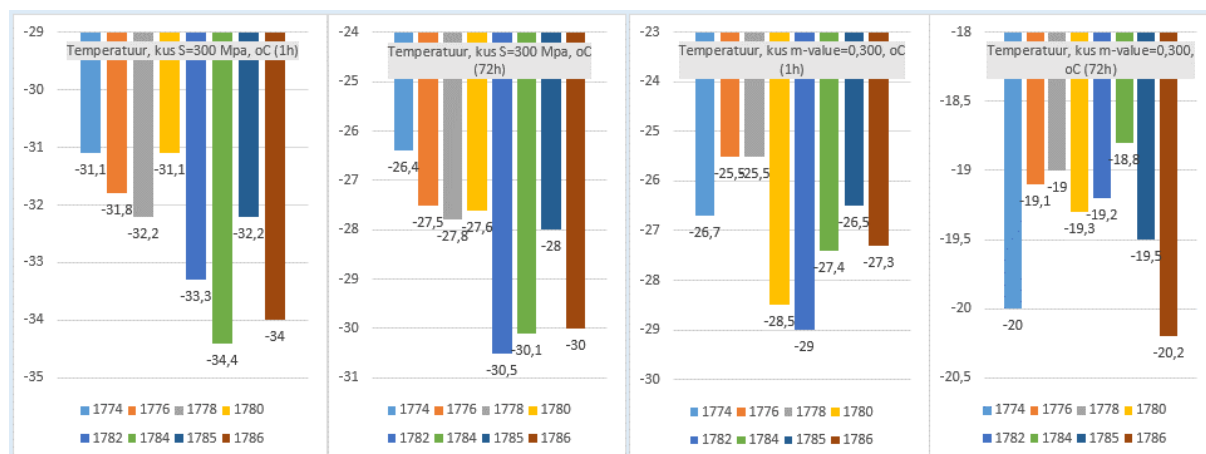
Joonis 8. Bituumeni pehmenemistäpi võrdlus

BBR katset (EVS-EN 14771:2023) võib tinglikult nimetada bituumeni külmakindluseks ehk see iseloomustab bituumeni võimet töötada madalatel temperatuuridel ning vältida pragude teket. Bituumenist vormitakse ca 10 cm pikkune katsekeha, mis asetatakse katsekeha otstest tugelele ning surutakse keskelt kindla jõuga madalatel temperatuuridel. Tekkiv läbipainde mõõdetakse sama koondproovi erinevatel osadel erineval ajal ning arvutatakse BBR-väärtused ehk paindejäikus (flexural creep stiffness – $S(t)$), mille põhjal saab prognoosida .

Kuigi ka referentsbituumeni ja kuumast segust ekstraheeritud bituumeni (sarnased BBR-väärtused – vastavalt ca 7 ja 6,5) pigem ei ole katsete läbiviija hinnangul head, siis sooja segu puhul on toimunud BBR-väärtuse märkimisväärne halvenemine (ca 9,0). Edaspidi vajaks uurimist, kas selline BBR-väärtus on iseloomulik soojadele segudele tervikuna, ainult vahustamistehnoloogiale või on tegemist konkreetse töös kasutatud bituumeni eripäraga või on põhjus milleski muus.



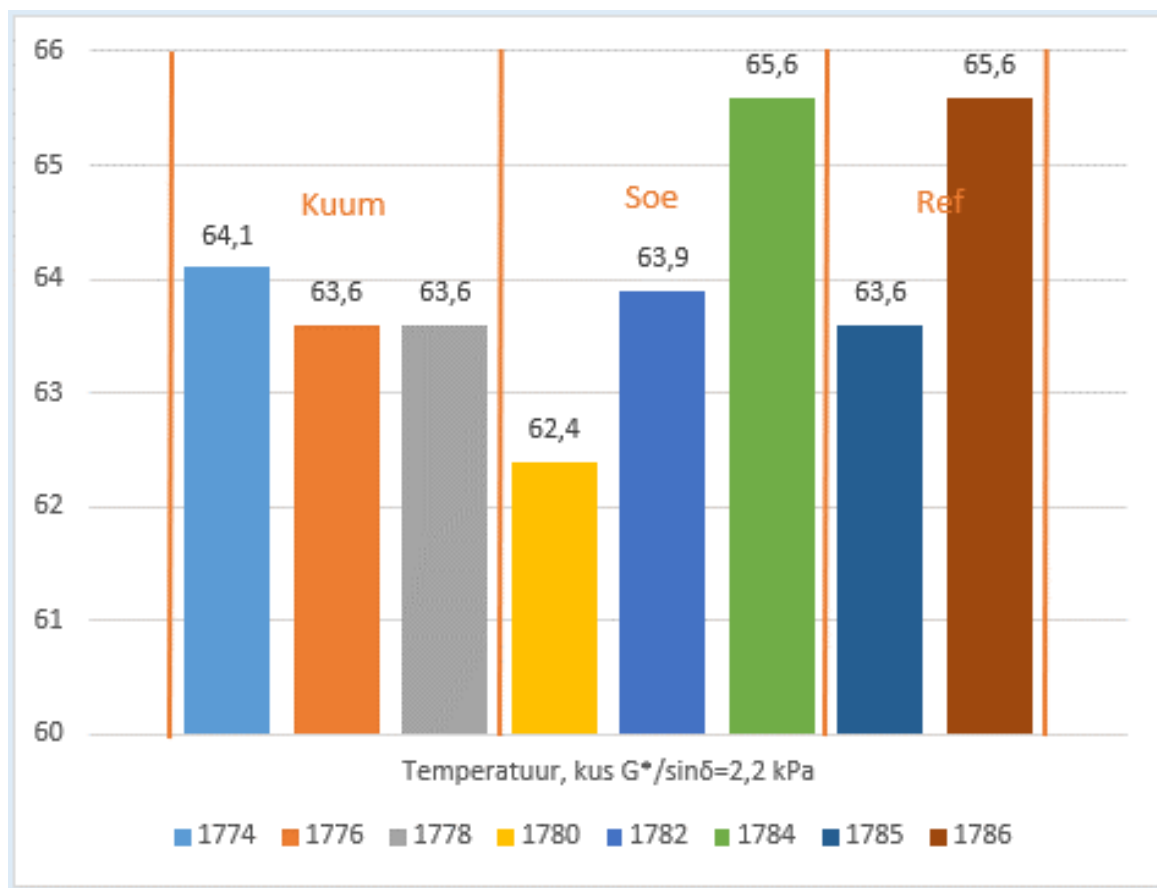
Joonis 9. Bituumenite BBR väärtuste võrdlus



Joonis 10. BBR arvutamiseks kasutatavate parameetrite võrdlus

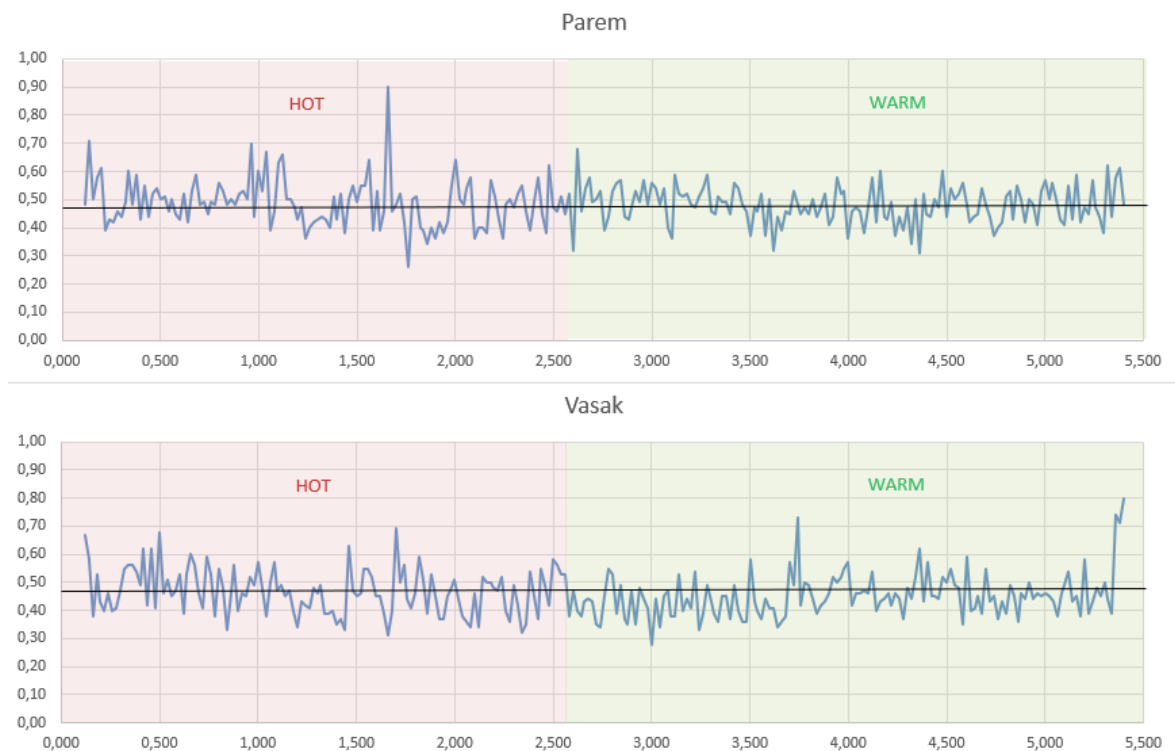
Bituumeni DSR väärtused iseloomustavad tinglikult bituumenite kuumakindlust ehk bituumeni võimet töötada kõrgetel temperatuuridel ning vältida deformatsioonide teket. DSR-katses (EVS-EN 14770:2023) kasutatakse väikest mündisuurust proovikeha, mis soojendatakse kindla temperatuurini ning mille ülaosa püüab katseseade pöörata. Katseseade mõõdab proovi ülaosa pöördumist alaosa suhtes ning mõõdab selleks kasutatud jõudu ning arvutab selle alusel bituumeni jäikuse ehk dünaamilise kompleksnihkemooduli (*complex shear modulus* - G^*) ja faasinurga (*phase angle* - δ). Enamasti antakse hinnanguid nende kahe väärtus suhtarvu ($G^*/\sin\delta$) põhjal. Nt. Superpave klassi PG 58-28 bituumeni puhul loetakse katseparameetrite 10 Hz ja 60°C juures heaks $G^*/\sin\delta$ väärtusi min 1,0 kPa referentsbituumenil ja min 2,2 kPa RTFOT-vanandatud bituumenil. Käesolevas töös DSR katses leitud iga proovi temperatuur, mille juures selle proovi $G^*/\sin\delta$ on 2,2 kPa. Edasi on erinevate bituumeniproovide temperatuure omavahel võrreldud. Mida kõrgem on temperatuur, seda parem on bituumeni vastupidavus kõrgetele temperatuuridele.

Nii kuumast kui soojast segust ekstraheeritud bituumenid andsid üldiselt sarnased DSR-väärtused – temperatuurides väljendatuna ca 62,4...65,6°C) kuid sooja segu bituumenite arvutuslikud temperatuurid kõikusid mõnevõrra rohkem. Samuti kõikusid suuremal määral referentsbituumeni näitajad. Ehk bituumeni kuumutamine kõrgema temperatuurini (kuum segu) justkui ühtlustaks bituumeni DSR-väärtusi, samas võib olla tegu juhusliku olukorraga ja meelevaldse järeldusega kuna väärtuste kõikumine absoluutväärtuses on siiski tagasihoidlik, samuti tuleb märkida, et ka kõikumist täheldati ka referentsbituumeni puhul, mis on läbinud RTFOT kuumutamise.



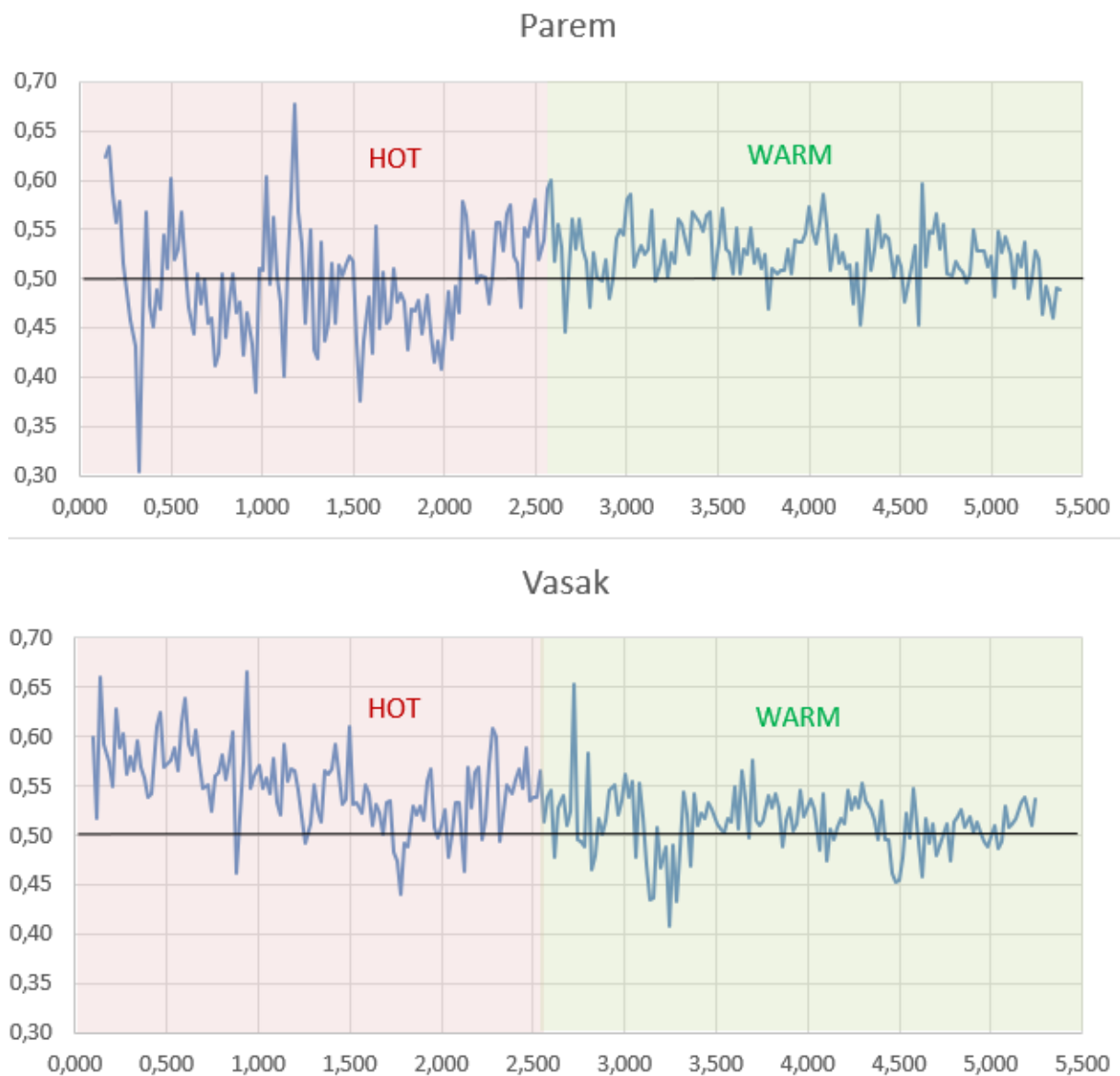
Joonis 11. Bituumenite DSR-väärtuste võrdlus

Tasasuse näitajate põhjal kuumade ja soojade segude vahel erinevusi ei märgatud.



Joonis 12. Tasasuse võrdlus (IRI4)

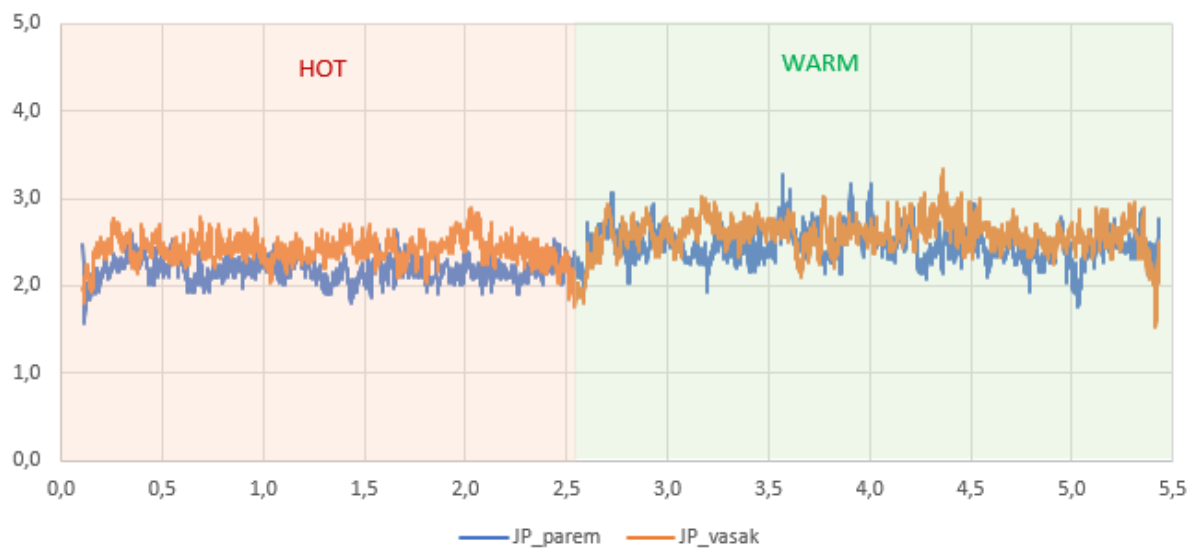
Haardeteguri näitajate põhjal kuumade ja soojade segude vahel selgeid erinevusi ei märgatud. Haardeteguri väärtuste tase ja kõikumine varieerus kogu paigalduse ulatuses.



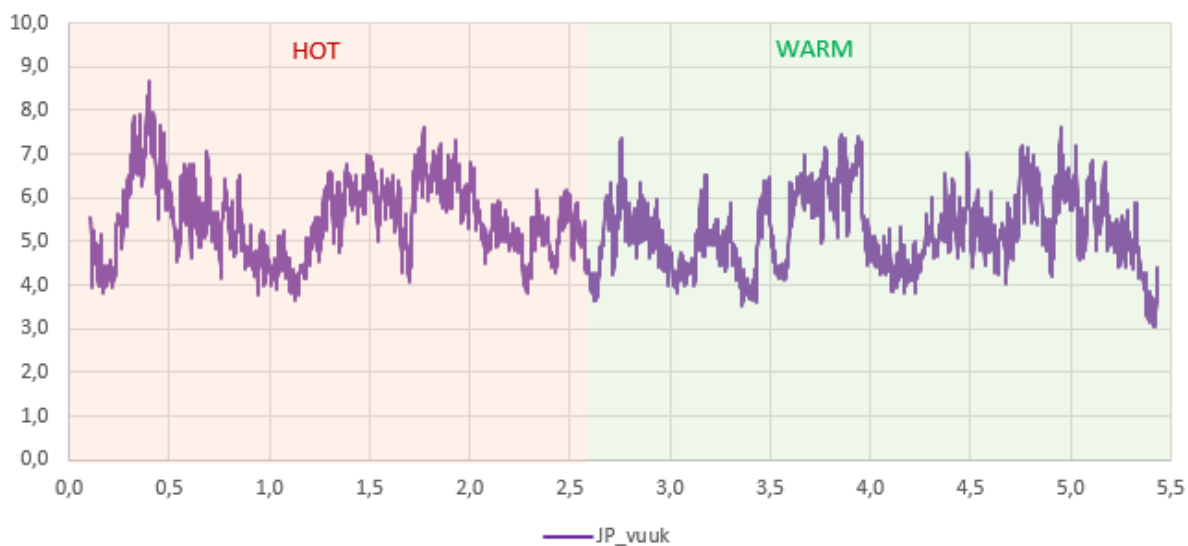
Joonis 13. Haardeteguri võrdlus

Maaradariga mõõdetud jäävpoorsuse ja tihendusteguri näitajate põhjal kuumade ja soojade segude vahel erinevusi ei märgatud. Minimaalne erinevus (ca 0,2 PP) on selgitatav laboratoorsetel katsetel erinevate võrdlussegude (kummagi segu puhul kasutati selleks vastavast segust saadud eri- ja mahumassi näitajaid) kasutamisega kuuma ja sooja segu korral.

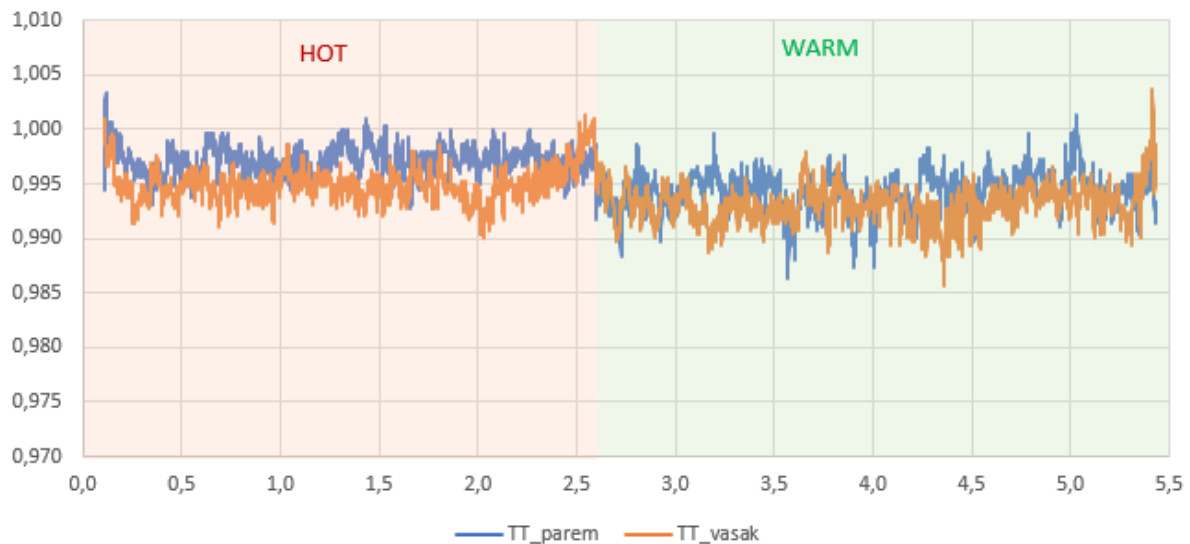
Soojade asfaltbetoonsegude tootmine tehases vahustamismeetodil –
piloteerimine Transpordiameti objektil - tugimaantee nr 43 km 0...5,4. Aruanne



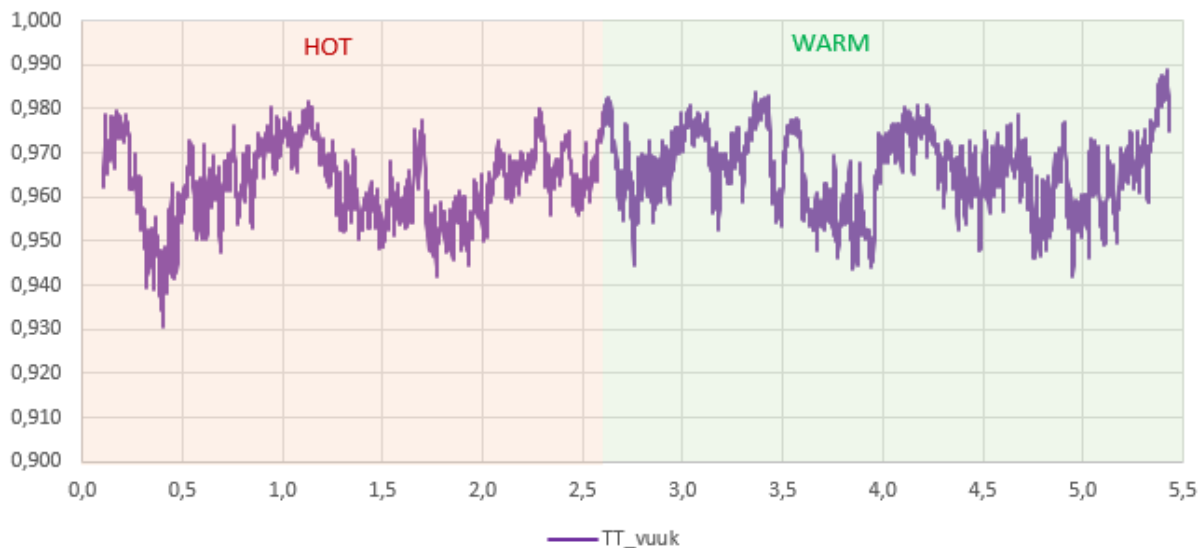
Joonis 14. Jäähpoorsus, rajad



Joonis 15. Jäähpoorsus, vuuk



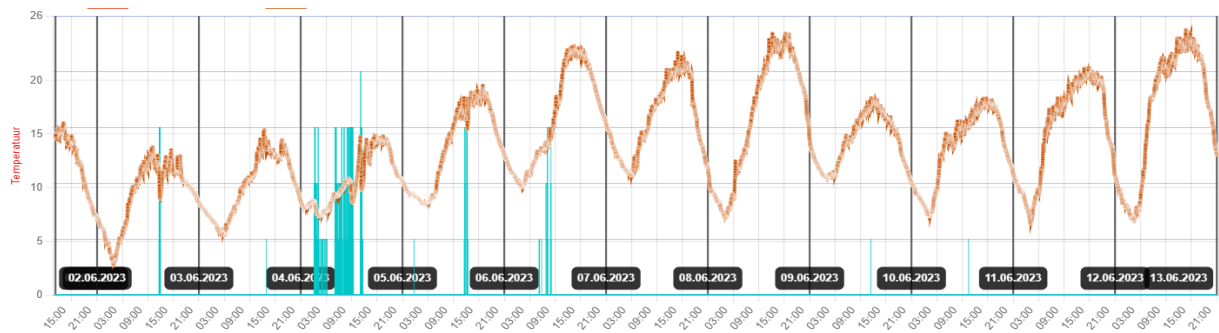
Joonis 16. Tihendustegur, rajad



Joonis 17. Tihendustegur, vuuk

Ilmastikutingimusi – õhutemperatuur, sademed, tuule kiirus ja suund, jälgiti tehase asukohas Tartus igapäevaselt 24/7 alates 02.06 kuni 13.06. Vaatlusperioodi suuremad sademetehulgad jäid esimese paigalduspäeva eelsesse päeva (04.06). Paigalduse ajal esines 5-10 minuti vältel lühiajaliselt sademeid 05.06 (kuum segu) vahemikus kell 14:35...14:45 ning 06.06 (soe segu ja alates kell ca 13 kuum segu) samuti lühiajaliselt (kokku 20-30 minuti vältel) kuid kogu tootmise vältel kell 9:45...11:15. Õhutemperatuurid jäid tootmise ajal minimaalse 12 (hommikul) ja maksimaalse 19-23 kraadi vahele (alates kell 15).

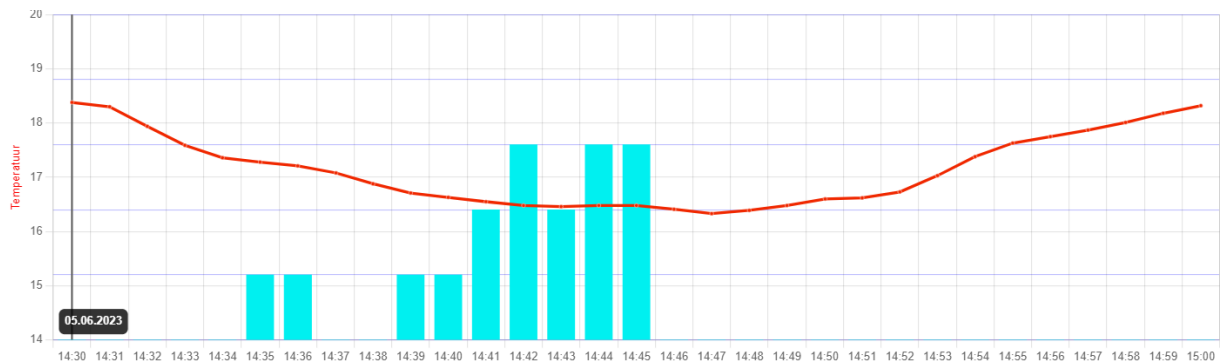
Soojade asfaltbetoonsegude tootmine tehases vahustamismeetodil –
piloteerimine Transpordiameti objektil - tugimaantee nr 43 km 0...5,4. Aruanne



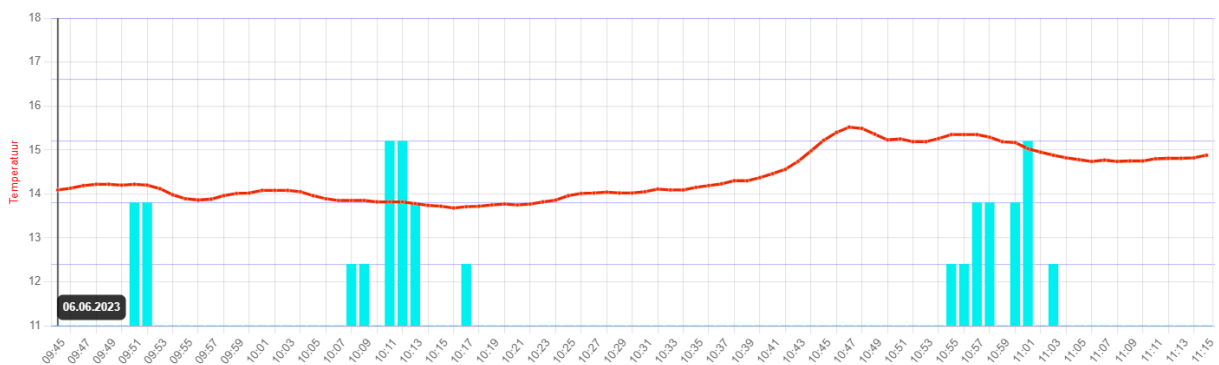
Joonis 18. Temperatuur ja sademed pikema vaatlusperioodil



Joonis 19. Temperatuur ja sademed paigalduspäeval

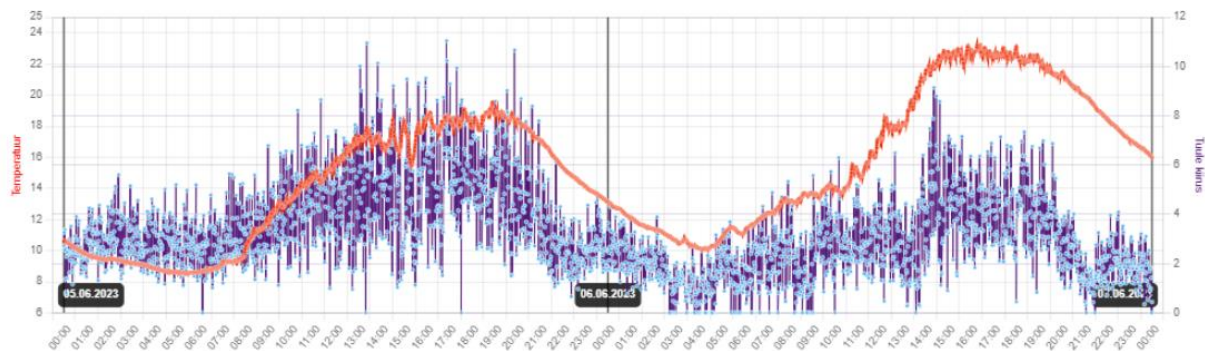


Joonis 20. Sademed esimesel tootmispäeval (kuum segu)



Joonis 21. Sademed teisel tootmispäeval (soe segu)

Soojade asfaltbetoonsegu tootmine tehases vahustamismeetodil –
piloteerimine Transpordiameti objektil - tugimaantee nr 43 km 0...5,4. Aruanne



Joonis 22. Temperatuur ja tuule kiirus paigalduspäevadel

Asfalditootmise kütusekulu andmetest on näha, et sooja segu tootmiseks kasutatav gaasikulu (5,15 m³/t) on kuuma segu tootmisele kulutatavast (6,91 m³/t) keskmiselt 25,5% madalam. Nii sooja kui kuuma segu tootmisel on näha päevade vahel mõningaid erinevusi – sooja segu tootmisel varieeruvad väärtused vahemikus 4,90...5,69 m³/t ja kuuma segu tootmisel 6,18...7,98 m³/t. Mõlemal juhul on kütusekulu suurem päevadel 05.06 ja 08.06 ning väiksem päevadel 06.06 ja 07.06. Võimalikud põhjused, miks kütusekulu mõnel päeval suurem on:

1. 05.06 (esmaspäev) tehase esmase kütmise kulu tavapärasest suurem
2. 05.06 eelneval päeval sademete tõttu on materjal niiskem ja vee aurustamiseks kulub lisaenergia
3. 08.06 eelnev öö on teistest päevadest jahedam ning materjal jahedam ja soojendamiseks kulub lisaenergia

Tabel 4. Kütusekulu võrdlus

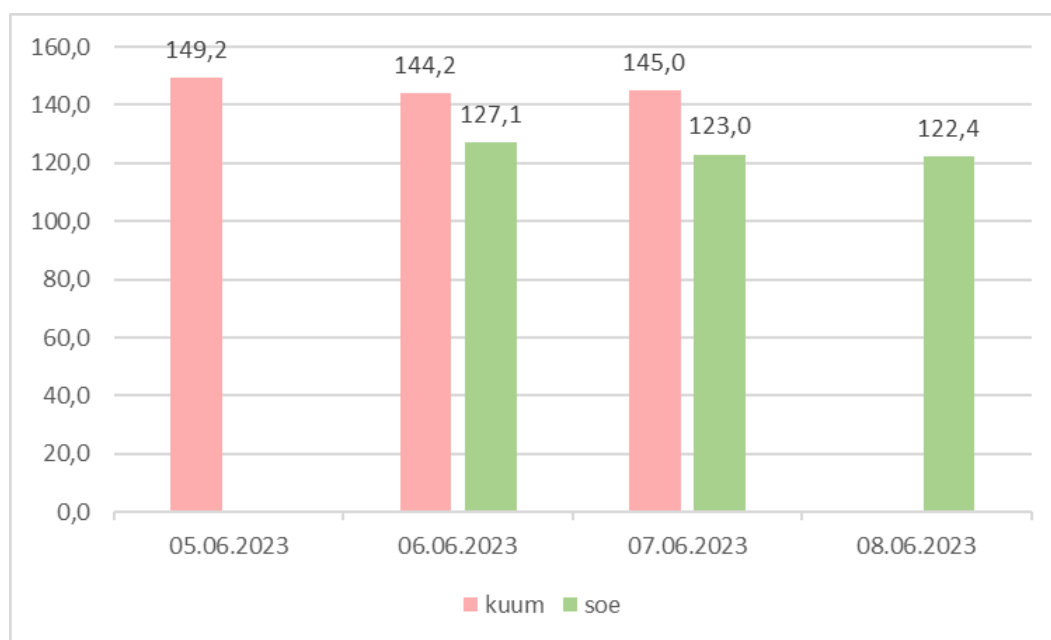
Kuupäev	Gaasimõõduri näit päeva alguses (m ³)	Gaasimõõduri näit päeva lõpus (m ³)	Toodetud asfalt (tonn)	vahtbituumeniga (tonn)	Gaasi kulu (m ³ /asfalditonn)
05.06.2023	58724	66365	1016,48		7,52
06.06.2023	66365	68831		502,92	4,90
06.06.2023	69324	73358	653,06		6,18
07.06.2023	73358	75653	369,84		6,21
07.06.2023	75653	81508		1186,54	4,93
08.06.2023	81508	85457		694,20	5,69
08.06.2023	85457	86357	112,80		7,98

Soojade asfaltbetoonsegu tootmine tehases vahustamismeetodil –
piloteerimine Transpordiameti objektil - tugimaantee nr 43 km 0...5,4. Aruanne



Joonis 23. Energiakulu võrdlus

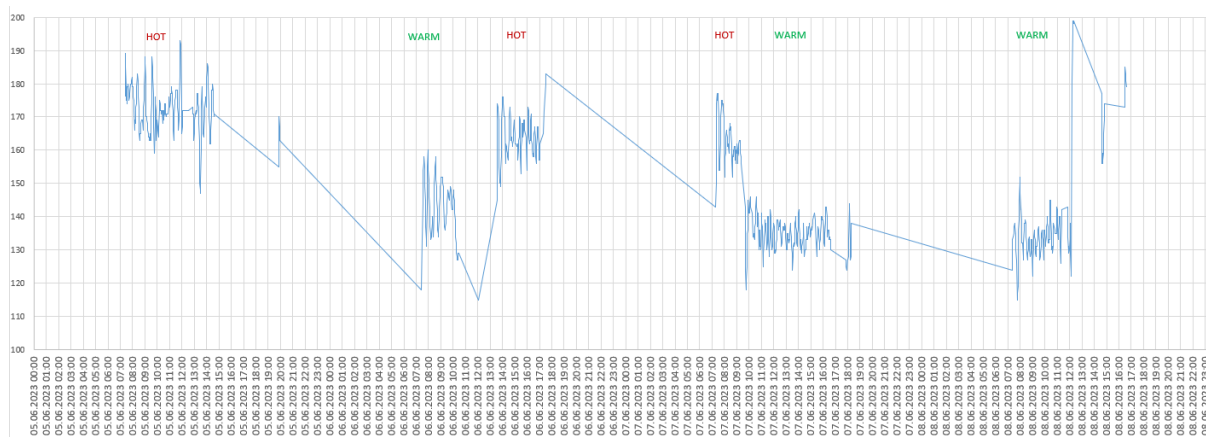
Kattetemperatuuri mõõdeti paigaldaja poolt skanneeriva kattetemperatuuri mõõteseadmega kogu katte laiuses ca 2m kaugusel laoturi tagant. Andmete põhjal on kuuma asfaldisegu keskmine paigaldustemperatuur 146,1 kraadi ja sooja asfaldisegu puhul 124,2 kraadi ehk viimase paigaldustemperatuur on ca 22 kraadi (15%) madalam.



Joonis 24. Keskmiste kattetemperatuuride võrdlus

Tootmisraportite põhjal on keskmine kuuma segu tootmistemperatuur 168,6 kraadi ja soojal segul 136,2 kraadi (erinevus 32,4 kraadi ehk 21% madalam).

Soojade asfaltbetoonsegude tootmine tehases vahustamismeetodil – piloteerimine Transpordiameti objektil - tugimaantee nr 43 km 0...5,4. Aruanne



Joonis 25. Tootmistemperatuurid toodangu raporti põhjal

		Art. Nr	Nimi	liin	Mahuti	Etteantud																
		102	0-2	1	2	210																
		103	2-5	1	3	155																
		104	4-8	1	4	134																
		105	8-11	1	5	162																
		106	11-18	1	6	172																
		107	18-27	1	7	36																
		201	Tolm	1	1	30																
		202	Filler	1	2	50																
		302	Bitumen 2	1	1	50.7																
		801	WetFix	1	1	0.3																
		901	Foam Bitumen	1	1	2																
Toodangu raport																						
AS Tref																						
2024	AS Tref																					
V 3.2	(D 5.1) R 1.0																					
Tellimused		Kuupäev	Märkused																			
6874		06.06.2023																				
Retsept		Kogus																				
32 AC 16 surf C25 LIIVATA W		2.028 t																				
		Komponendid / Artiklid	Temperatuurid[C]																			
Segu	Aeg	102	103	104	105	106	107	201	202	302	801	901	Tot.	Ton.	T1	T2	T3	T4	t/h	s	VS	
		420.0	310.0	268.0	324.0	344.0	72.0	60.0	100.0	101.4	0.6	2.0										
53583	12:04:20	407	321	274	317	358	95	52.2	100.8	100.8	0.59	2	2028	2028	115	0	0	21	75	96	25	2
12:04:21 Tellimus täidetud!																						
		407	321	274	317	358	95	52.2	100.8	100.8	0.59	2	2028	115				21	75			
: 0.57 s																						

Joonis 26. Tootmisraporti näidis

9. KOKKUVÕTE

Tavapäraste kvaliteedimõõtmiste põhjal (tasasus, haardetegur, jäävpoorsus maaradariga) ei ole vahustatud (soe segu) ja tavabituumeniga (kuum segu) rajatud asfaltkatete puhul olulisi erinevusi.

Tavapäraste katsete põhjal (asfaldi sideaine sisaldus ja terakoostis, deformatsioonikindlus) on samuti tegemist samaväärsete toodetega.

Bituumeni tavakatsed näitavad, et töödeldud (kuumutatud ja segust ekstraheeritud) bituumeni pehmenemistäpp (52 kraadi) ootuspäraselt küll tõuseb (ca 6 kraadi) võrreldes algse bituumeniga (48 kraadi) kuid ei erine kuuma ja sooja segu vahel. Bituumeni penetratsioon ootuspäraselt langeb mõlemal juhul algse e. referentsbituumeniga (pen85) võrreldes, kuid siin jääb sisse mõningane erinevus – kuuma segu bituumeni penetratsioon vähenemine on 6 ühikut suurem (pen48) kui soojal segu bituumenil (pen54).

Kuuma asfaldisegu keskmine paigaldustemperatuur 146,1 kraadi ja sooja asfaldisegu puhul 124,2 kraadi ehk viimase paigaldustemperatuur on ca 22 kraadi (15%) madalam. Keskmine kuuma segu tootmistemperatuur oli 168,6 kraadi ja soojal segul 136,2 kraadi (erinevus 32,4 kraadi ehk viimase puhul 21% madalam).

Sooja segu tootmiseks kasutatav gaasikulu (5,15 m³/t) on kuuma segu tootmisele kulutatavast (6,91 m³/t) keskmiselt 25,5% madalam.

Uuring näitas, et soojade segude kasutamine on võimalik ja tehniliselt saavutatakse samaväärsed tulemused kui kuumade segudega. Kuna töö hõlmas väga piiratud arvu katseid, on andmeid järelduste tegemiseks vähe kuid tehtud ehitustöö sisendab usku, et vahustamistehnoloogiaga on saavutatav hea katte kvaliteet. Kindluse saamiseks tuleks sarnaseid võrdlevaid uuringuid korrata, näitamaks, et tegu ei olnud ühekordse juhusliku saavutusega. Samuti tuleks nii käesoleva uuringu objekti kui tulevase uuringuobjekte toetada jätku-uuringutega – nt. võrrelda tasasuse, roobaste ja defektide arengut võrdluslõikudel, analüüsida defektide arengut seoses katte paigaldustemperatuuri ühtluse ja paigaldusseisakutega jms nt. garantiiperioodi lõpus ja edasi 2-aastase intervalliga.