**Betoontee, arenenud riigid ja meie kliimavöönd.** Majanduslikult on betoontee mõistlik siis, kui raskeliiklust (üle 3,5 tonniseid sõidukeid) on piisavalt ehk siis kui need rasked miskipärast aeglaselt liiguvad ja seetõttu asfaldiga vastupidavat lahendust pole võimalik teha.

Betooni eelis ilmneb oluliselt aeglasemas kulumises ning jäiga materjalina ei teki koormusest plastseid ehk jääkdeformatsioone. Asfalt käitub kuuma ilmaga nagu plastiliin. Meist lõuna pool on talved lühemad ja kergemad ning naastrehvid keelatud ja seetõttu ka betoonteid rohkem, seda nii Saksamaal, Austrias kui Poolas. Betooni probleemiks naastrehvide puudumisel on pigem suure liikluskoormusega pinna siledaks kulumine -roobas kui selline on väga väike, kuid betoon kulub libedaks ja läikima. Selle vastu kasutatakse teemantfreesiga karestamist – karestamise käigus tehakse betoonteele nagu kammiga mõnemillimeetrilised jäljed – enamjaolt risti teega. Meil tagavad talvised naastrehvid katte karestamise.

Liikudes lõunasuunas on lihtne võrrelda raskeliikluse numbreid, väga laias laastus on EE/LV piiril ca 2000 raskesõidukit ööpäevas, LV/LT piiril 4000 ja LT/PL piiril 8000. Siit selgub kenasti, miks lõunapoolsetes riikides rohkem betoonteid näha/tunda. Meil Eestis on ilmselt suurimad numbrid 3000 piirimail, seda Tallinna Ringteel. Palju maha ei jää ka Via Baltica pea kogu ulatuses.

Asfaltkate dimensioneeritakse korduvkoormustele ning suure raskeliiklusega teedel kujuneb seetõttu ka asfaldikihtide paksus suuremaks. Probleemid ilmnevad alal, kus liikluskiirus on madal, linnas eriti näiteks enne foorristmikke. Kuumaga on asfalt plastne ning kui koormuse mõjuaeg on suurem, vajub asfalt eriti kuuma ilmaga – kui asfaldi kogupaksus on väike, siis jõuab koormus sidumata alakihtidesse. Samas, mida paksem on asfalt, seda suurem on kuumaga võimalus, et asfalt koormuse all voolab – kõrvale ja üles, millest tulenevalt näeme sõidujälgede kõrval kõrgemaid laineharjasid. Maanteeolukorras on probleemseks raskeveokite üksikrattad (super-single rehv, laius üldiselt 385 mm) kui tridem-teliku (kolm telge ühel alusel, reeglina poolhaagistel tavaline) telgede vahe on väike ja deformatsioon ühest koormatud teljest ei jõua taastuda enne kui järgmine telg kohale jõuab. Tavakoormused ristlõikes veidigi hajuvad, kuid tridem-teliku rattad liiguvad jälg jäljes. Ka on täna probleemiks sõiduraja hoidmise automaatika, mis suunab kõik rasked liikuma samas jäljes (kui juht eraldi ei sekku).

Täismõõduline betoontee on igal juhul selgelt kallim kui asfaltkattega tee. Kestab küll kauem, kuid kindlasti hindavad poliitikud rohkem seda, et linti saab lõigata asfaltkatte puhul tihedamini. Ja sama raha eest kilomeetreid rohkem.

**Põhjamaistes tingimustes on teekattele probleemiks naastrehvid** – teemantfreesiga saab karestamiseks küll paarimillimeetrised sooned betoonist teekattesse, kuid kahesentimeetrist roobast nii välja ei freesi ning küsimus ei ole kulumisvarus mis projekteerimisel-ehitamisel juurde vajalikule arvutuslikule miinimumile liidetakse vaid freesimises endas, sest betoonile on omane järelkivinemine. Seetõttu on ka Soome ainsal allesjäänud betoonteel Tamperes asfaldist kulumiskiht peale pandud ja otsustatud, et uusi betoonteid enne ei hakata tegema kui naastrehvide kulumise probleemile lahendus leitud. Seetõttu ka Paldiski maantee katselõigus sai pooles ulatuses kohe asfalt peale pandud et võrrelda. Rootsis on meie laiuskraadil ka mitmeid betoonist katendeid, sealhulgas ka Stockholmi lähialas, kuid teadaolevalt neid praegu juurde ei tehta, kui, siis pigem Lõuna-Rootsis kus naastrehvid talvel nii levinud ei ole. Betooni asfaldiga katmist on nähtud pigem hädalahendusena. Betoon on liiga hea et seda asfaldi alla peita. Tavaliselt tehakse betoontee kahekihilisena – ülakihil on kõrged kvaliteedinõuded (tasasus, haardetegur, kulumiskindlus), alumisel madalamad. Kui aga asfaldist kulumiskihti kasutada, ei ole need nõuded nii rasked ja saame kasutada ühekihilist odavamat betooni ja ka veidi erinevaid tehnoloogiaid.

Kui aga juba asfaldist kulumiskiht, siis ehk saab ka betooni seal allpool odavamalt teha.

**Lahenduseks ka meie tingimustes võiks olla teerullibetoon.** Ehk oleks see lahendus sobilik ka teistele meie kliimavööndi riikidele (Rootsi Soome Norra)?

Teerullibetoon on tsemendisisalduselt ja ka survetugevuselt üsna võrdne tavabetooniga, paindele betoon ilma armeerimata niikuinii hästi ei tööta. Seepärast peaks tavabetoonil arvutuslik kihipaksus autotee arvutuslike koormuste juures vähemalt 18 cm olema, siia tuleks lisada varu eelkõige arvestamaks võimalike ülekoormustega. Betoontee ehitamiseks kasutatakse spetsiaalset betoonirongi, tehnoloogia eeldab pikemat kogemust, mistõttu nii Skandinaavias laiemalt kui ka Eestis, kui betoonteid on ehitatud (nii Ämari lennurada kui ka juba nimetatud Paldiski maantee katselõik) on põhitegijad väljamaalased Kesk-Euroopast, kes just betoonteedega kogu aeg leiba teenivad. Iga tahke keha temperatuuri tõustes paisub, külmaga tõmbub kokku. Mida paksem see keha (ehk betoon) on, seda suurema pinnaga paisumisest tulenev koormus vastu võetakse. Sakslased tunnistavad täna, et kui betoonkate on õhem kui 24 cm, on suur risk et temperatuuripaisumise tõttu betoon puruneb. Lisades betoonile terasarmatuuri, paranevad ka tugevusnäitajad – niivõrd, et insener Arvo Tinni juurutas Austraalias ka kuni 50 kilomeetrise vuukideta betoonkatte.

**Teerullibetoon on odavam, eelkõige seetõttu, et ei vaja spetsiaaltehnoloogiat**. Kohale veetakse materjal asfaldiveoks kasutatavate veokitega ning paigaldatakse asfaldilaoturiga, korraga paigaldatavaks kihipaksuseks on reeglina 20...30 cm. Tihendatakse tavaliselt kummiratastega teerullidega ja seetõttu ei ole pinnakiht nii sile kui metallvaltsiga rullidega saaks – samas kui peale tuleb ka veel asfalt, siis natuke ebatasasem pind on isegi hea, sest tekib parem nake asfaldiga.

**Vuugid.** Kui just ei ole tegemist pideva armeerimisega raudbetooniga, on betoonteele vajalikud paisumisvuugid. 4…6 meetrise vahega saetakse värske betooni ülakihti praod ja kui betoon kivinemisel veidi kokku tõmbub, areneb pragu kogu betooni sügavuses. Et vuugipraod saetakse kindla süsteemi järgi, siis on betooni paigalduse käigus plaadi alumises kolmandikus paigalduse ajal sisse jäetud metallvardad, mis võimaldavad plaatide omavahelist horisontaalset liikumist, kuid ei lase plaatidel teineteise suhtes vertikaalsuunas liikuda. Sellised vuugid on teekasutajale üsna ebamugavad ja teehooldaja peab aegajalt tavaliselt silikoonkummist tehtud vuugitihendeid asendama. Betooni ülakiht mängib temperatuuriga rohkem kui alakiht, seetõttu on vuugitihendid vajalikud vaid betooni ülaosas. Tihendid takistavad plaatidevahelisest vuugist vee liikumist katendi alakihtidesse, see on eriti oluline kui talvel teed soolatakse ja alakihtides ka paekivi kasutatud on. Nagu näha ka Paldiski maanteel, kus katselõik nüüd 10 aastat kasutuses on, peegelduvad vuugikohad siiski asfaldist läbi ning asfalt kipub lagunema sest plaadid omavahel siiski kuigivõrd liiguvad – küll ainult horisontaalsuunas.

Teerullibetoonil ei ole vaja vuugivardaid kasutada sest betoonis on vähem vett (väiksem vesitsement-tegur) ja seetõttu kivinemisel betoon nii palju ei kahane. Ka on võimalikud praod ja lõikepind oluliselt ebaühtlasemad ning plaatide vahel parem kontakt kui seda tavabetoonil tekib. Teerullibetoon on põhimõtteliselt sama tugev tavabetooniga, kuid arvestades, et soovime kasutada asfaldist kulumiskihti, võiks katsetada ka väiksema tsemendisisaldusega vähem tugevat odavamat materjali – siin tekib juba üleminek tsementstabiliseerimisele.

Kirjanduse andmetel kahaneb teerullibetoon kuigivõrd nii kuivamisel kui külma ilmaga, selle käigus tekivad ka praod kuid need on väiksemad kui tavabetoonil. Seetõttu, kui katendi visuaalne välimus ei ole nii oluline (tööstus- või laomajanduse siseterritooriumitel) jäetakse vuugid saagimata ja lepitakse isetekkeliste pragudega – vuukide alge saagimine on just selleks vajalik, et pragude teket suunata. Kui aga me peame naastrehvide tõttu niikuinii asfaldist kulumiskihi paigaldama ja seda vastavalt kulumisele ka asendama, siis need võimalikud praod kaetakse juba asfaldiga. Siit tulenevalt, võiksime teerullibetooni teha ka ilma vuukideta. Tõsi, vuugi vajadus on siis vaid tehnoloogiline – kui paigaldusel esinevad pikemad pausid nii materjali laotamises koormate vahel kui naaberpaanide paigalduses (üle tunni), siis tuleb teha vuugid vahekohtadesse ja paanide vahele. Seetõttu ongi meie ettepanek, alustada teerullibetooni kasutamist bussipeatuste taskutest – kui peatus on taskus, siis ei kasuta seda katet ka kuigi palju naastrehvidega sõidukeid ja pole isegi asfaldist kulumiskihti vaja. Sama ka ühissõidukiraja korral. Kui aga see koormatud ala on üldkasutuses (sh naastrehvidega sõidukite poolt), tuleb paigaldada asfaldist kulumiskiht. Edasi võiks minna juba suure koormusega ristmike ja nende lähialade tegemisele, kus asfalt kiiresti roopasse sõidetakse. Tallinnas näiteks Tammsaare-Sõpruse, Reidi tee või veel mõned sarnase koormusega alad. Ehituslik probleem on pigem just see katkematu materjali tarne paigalduse ajal (nii piisav betoonisõlme tootlikkus kui pidev transport). Ehitusprotsess on kiirem ja arvestades, et materjal tihendatakse teerullidega, võib tavakasutusele tee avada juba paari päeva pärast kui tavapärased betoonteed peaksid 2…4 nädalat kivinema enne kui liiklust peale lasta. Näiteks elava liiklusega ristmiku koos lähialaga saaks korda nädalavahetusega.

**Betoontee** maine on Eestis üsna hea, Peterburi tee on ehitatud 1967 ja tõsi ta on, et see tee tänaseks väga ebatasane. Pannakse imeks, et tee tänaseni kestnud, kuid üks põhjus ilmselt ka see, et elukaare esimese poole aegu naastrehve Eestis praktiliselt ei kasutatud. Betoon ise aga järelkivineb ajas ning tulemusena tänast järelkivinenud betooni ka naastud enam nii isukalt ei söö. Betooni puhul võiksime hinnata, et tegemist on kohaliku materjaliga, erinevalt asfaldist mis vajab igal juhul naftasaadusi. Kahjuks küll piirdutakse täna Eestis vaid klinkri jahvatamise ja tsemendi pakendamisega, enam ei ole täielikku tsemendi tootmistsüklit. Õismäe (Paldiski maantee) katselõigul on betoon tänaseks 10 aastat toiminud ja ilmselt on ka aeg et hinnata, kui hästi katend kestnud on, milline on täna hoolduse ja remondi vajadus ja kui kiire on olnud roobaste areng.

**Juhendid.** Õismäe katselõigu projekteerimise ajal sai koostatud Tallinna tüüpkatendite kataloog, mida uuendasime 2018, seal on ka betoontee käsitletud kuid teerullibetoonile tol ajal veel piisavalt tähelepanu ei suunatud. Kataloogi uuendamine oli plaanis kolmeaastase intervalliga, tänaseks on ka see kell topelt kukkunud, kuid linn ei ole näidanud üles huvi kataloogi uuendada. Samas, tuleks enne lahenduse juhendisse kirjutamist mõni reaalne katselõik ära teha. Tavaprojekteerija tundmatusse kohta ei hüppa, seega peaks just Tallinn initsiatiivi näitama. Sillutiskividega oleme suutnud viimaste aastatega üsna mitmed ämbrid läbi käia, ehk õnnestuks teerullibetooniga kasvõi paar bussipeatuse taskut teha enne kui laiemat kasutust soovitada. Linnalahendusi tehakse ka mujal riikides kataloogipõhisena, kus midagi eriti arvutada pole – kuid reeglina tehaksegi esmalt katsetöö et veenduda lahenduse toimivuses. Ja selleks on eelkõige vaja uuendusmeelset tellijat.

**Maksumus ja kasutusiga.** Arvestades asfaldist kattega, võime eeldada et kulumiskihi asendamise tsükkel on ca kaks korda pikem, kuna roobas moodustub ainult naastrehvide kulumisest, mitte teekonstruktsiooni kihtide läbivajumisest raskeliikluse all, see on kahtlemata võit teehoiukuludes. Oleme ka veendunud selles, et kui betoon on asfaldiga kaitstud, kujuneb sellise betoonikihi kasutusiga oluliselt pikemaks – vähemalt 50 aastat. Asfaltkatte analoog võiks olla 20…30 aastat (normitekst näeb ette vähemalt 20, tegelik kujunebki veidi pikemaks ja Tallinna keskmiseks oli veel nii 10 aasta eest statistiliselt 35 aastat – tõenäoliselt tulenes see rahapuudusest). Tavahooldus on võrdne seniste asfaltkatetega.

Magistritöö raames hinnati ka ruutmeetri maksumust mis kujunes ootamatult asfaltkattest odavamaks – kas see ka tõesti nii on, selgub pärast katselõikude tegemist sest seni oleme piirdunud laboratoorsete katsetega, küll tehaseseguga aga siiski väikeste kogustega. Hinnavõrdluseks tuleb valida samale koormusele sobivad katendid, hetkel hindaksin et RCC võrreldud konstruktsioon on veidi suuremale koormusele kuid siin tulevad ette tehnoloogilised miinimumid mistõttu teerullibetoon väikese koormusega teedele kujuneks kindlasti kallimaks asfaldist. Eks me suudame hinda täpsemalt prognoosida pärast suuremate partiide tootmist, reaalsete katselõikudega. Igal juhul võrreldes betoonteega on teerullibetoon odavam eelkõige tehnoloogiast tulenevalt (puudub vajadus eritehnika kasutamiseks mida Eestis võtta ei ole, tuleks renditehnika mujalt tuua, tehnoloogilisi protsesse on vähem võrreldes betoonteega kus paigaldusele järgneb viimistlemine ja pikem ooteaeg enne käikuandmist).

Tehnoloogia vajab veel katsetamist – püüaksime kohe peale tihendamist teerullibetooni pinnata ja seejärel võib kohe asfaldist kulumiskihi peale panna – pindamine tagab parema nakke betooni ja asfaldi vahel ja kaitseb ka betooni liiga kiire kuivamise või valingvihmade eest sest ilmajaam ju ka ainult prognoosib, aga ei vastuta tulemuste eest. Bussipeatuse taskutega aga võiks kohe alustada.

Teostatud katseid võiks küll usaldusväärseteks lugeda, sest segu on toodetud tehases, tõsi, minimaalse partii suurusega. Suurema partii ehk reaalse katselõigu korral saame kindlasti stabiilse koostise. Väikeste katsekehadega ei ilmnenud pragude teke, kuid Stabilroad ® või mõne muu elastsust tõstva lisandiga tuleb reaalselt katsetada, kas ja kui suured praod tekivad kuivamisel ja talvel kui külmaga kõik materjalid kokku tõmbuvad. Kui õnnestub lisanditega pragude teke minimeerida, saaksime ka ilma asfaldist kulumiskihita hakkama – tõsi, vaid seal kus naastrehve vähe kohtab. Usume, et asfaldist kulumiskiht varjab ka tekkivad praod ja kui pindamiskiht (bituumenemulsioon) vahel on, siis ei peegeldu praod katte pinnale. Paraku, esialgu on tegu vaid usuga, praktika on tõe kriteerium. Ruduse abi oli antud töös hindamatu – katsesegud toodeti tehases ja selle eest me maksma ei pidanud. Kuid ka katselõikude puhul tuleb kindlasti ette riigihange.

Üks tõrvatilk ka veel meepotti – kui tee all mingid trassid on (vesi, kanal, elekter, side, gaas), siis nende remont on kindlasti tülikam ja kallim. Aga ammu oleks aeg ka tänavate alused trassid kollektoritesse paigutada.

**Tulevikustsenaarium.** Bussipeatused ja ühissõidukirajad lähema 3-4 aasta jooksul, seda suudaksime ka tänaste teadmiste ja kogemuste baasilt. Rasketehnika liiklusalad, saeveskid ja laoplatsid vastavalt vajadusele. Katsetused teedel, et optimeerida tsemendisisaldust. Lisaks tehasesegudele tuleks ka rohkem olemasolevate teekonstruktsioonide materjali kasutada – siin võiksid lahenduseks olla mobiilsed betoonitehased, sest maantee puhul jäävad veokaugused muidu liiga suureks – Tinni hinnangul ei tohiks betoonitehas suurtel objektidel kaugemal kui 10 km olla.