



Skýrsla nr. 03-14

Burðarþolshönnun vega með greiningaraðferðum

Þórir Ingason og Haraldur Sigursteinsson

Unnið fyrir:

Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar

Keldnaholti, september 2003



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

Keldnaholti, IS-112 Reykjavík, sími 570 7300, fax 570 7311

Skýrsla nr: 03-14
Dreifing Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>

Rb/SfB 12 (L)

Heiti skýrslu: Burðarþolshönnun vega með greiningaraðferðum	Dags: September 2003
	Fjöldi síðna: 9 + 47 í viðaukum
Höfundur: Þórir Ingason og Haraldur Sigursteinsson	Faglega ábyrgur: ÞÍ
Deild: Vegtæknideild	Rannsóknarnúmer: V-0209
Unnið fyrir: Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar.	
Úrdráttur: <p>Íslendingar hafa tekið þátt í tveimur evrópskum verkefnum sem lúta að þróun fræðilegra aðferða við burðarþolshönnun vega. Ákveðnar tillögur um líkön komu fram í þessum verkefnum, en ekki hefur þó verið farið af stað með sameiginlega þróun þeirra í Evrópu. Bandaríkjamenn hafa hins vegar ráðist í endurskoðun á AASHTO hönnunaraðferðinni að hluta til í anda tillagna Evrópuverkefnanna. Norska aðferðin (Handbok 018) sem höfð er til hliðsjónar við burðarþolshönnun vega hér, gerir ráð fyrir að meðal annars sé hægt að nota fræðilegar aðferðir við hönnun</p> <p>Í ljósi ofangreinds voru þrjú forrit skoðuð með það í huga að kynna þau fyrir aðilum innan Vegagerðarinnar, sem gætu svo prófað að nota þau meðfram sínum daglegu störfum. Forritin voru AASHTO 2002 design guide, MnPave frá Minnesota í Bandaríkjunum og MMOPP frá Danmörku.</p> <p>Forritn eru öll enn í þróun og við keyrslur komu gjarnan upp villur. Því var ekki talið tímabært að kynna þau fyrir starfsmönnum Vegagerðarinnar á þessu stigi. Það er hins vegar skoðun skýrsluhöfunda að AASHTO 2002 og hermihluti MMOPP forritsins komi til greina í notkun hér eftir ákveðna staðfærslu, en nýjasta útgáfa MnPave virðist e.t.v. of staðbundin fyrir Minnesota fylki í Bandaríkjunum. Ef AASHTO 2002 nær fótfestu í Bandaríkjunum verður að telja líklegt, í sögulegu samhengi, að aðferðin nái frekari útbreiðslu annars staðar, meðal annars hérlendis. Vegna staðfærslu forritsins, þarf að sinna áfram rannsóknaverkefnum sem að hluta eru þegar hafin hér, s.s. HVS-próf, dynamísk þríasapróf á óbundnum og bikbundnum efnum og fleira.</p>	

3 lykilorð: Á íslensku

Á ensku

Vegur	Road
Þykktarhönnun	Pavement design
Fræðilegar aðferðir	Theoretical approach

1 Inngangur

Íslendingar hafa tekið þátt í tveimur evrópskum verkefnum sem lúta að því að leggja grunn að þróun aðferða við burðarþolshönnun fyrir vegi, sem byggir á fræðilegum grunni. Verkefnin eru COST 333 [1] og AMADEUS [2].

Í niðurstöðum COST 333 verkefnisins, var lagt til að stefna ætti að hönnunarlíkani sem reiknar ástand vegarins sem fall af tíma. Slíkt líkan má einnig nota til að skoða áhrif viðhalds og annarra breytinga á vegi sem þegar hefur verið byggður. Grundvallarhugsun í slíku líkani er að það geti spáð fyrir um þróun einstakra skemmda (sprungumyndun, hjólfaramyndun, breytileika í sléttleika o.s.frv) hvern fyrir sig og síðan lagt það allt saman, þannig að upplýsingar fást um heildarástand vegarins sem fall af tíma. Líkanið ætti að geta tekið tillit til hvaða áhrif mismunandi skemmdir hafa á efnið í veginum, til dæmis að styrkur efna minnkar við niðurbrot, og annarra atriða, til dæmis að lög þynnast, vegur verður ósléttur (áhrif álags aukast) o.s.frv. auk þess að geta tekið tillit til mismunandi ástands efna á mismunandi tímum ársins. Síðast en ekki síst var bent á að forritið ætti helst að vinna “í rauntíma”, þannig að það tæki tillit til ástands vegarins eftir næsta tímabil á undan, þegar það er að reikna viðkomandi tímabil.

Í AMADEUS verkefninu var markmiðið að leggja eitthvað að mörkum til þróunar á nýrri sameiginlegri evrópskri aðferð við burðarþolshönnun fyrir vegi. Í verkefninu voru líkön af ýmsum gerðum skoðuð og metin með tilliti til ákveðinna aðstæðna. Þessi skoðun leiddi ekki til þess að draga fram ákveðin líkön umfram önnur, en þó er bent á að línulega seigjuþjáðrandi líkön lýsi betur spennum og streitum undan hreyfanlegu álagi, en línulega fjaðrandi líkön. Í niðurstöðum verkefnisins er annars tekið undir niðurstöður COST 333 verkefnisins um hvernig hönnunarlíkani ætti að stefna að, en auk þess bent á að það ætti að geta tekið tillit til skemmda, sem ekki er gert í þeim líkönnum sem þá voru til, s.s. sprungumyndunar sem byrjar á yfirborði bikbundinna laga, hjólfaramyndunar í yfirborðslögum og slits vegna negldra hjólbarða auk frostlyftinga á köldum svæðum.

Í Evrópu hefur ekki verið farið af stað með sameiginlega þróun á hönnunarlíkani í þeim dúr sem hér er nefndur. Bandaríkjamenn hafa hins vegar ráðist í endurskoðun á AASHTO hönnunaraðferðinni, með því að þróa nýtt hönnunarlíkan sem nefnt er AASHTO 2002. Grundvallarhugsunin í því líkani er sambærileg við það sem nefnt er hér að framan, en forritið vinnur þó ekki “í rauntíma” heldur tekur eitt tímabil fyrir í einu og leggur þau svo saman yfir allan líftímann sem verið er að skoða.

Nú er það vinnuregla hjá Vegagerðinni, að höfð skuli hliðsjón af norskum aðferðum við burðarþolshönnun vega, sem settar eru fram í handbók 018 Vegbygging. Þessar aðferðir voru í endurskoðun í Noregi árið 2002, en ný útgáfa hefur ekki litið dagsins ljós þegar þessi skýrsla er skrifuð (september 2003). Útgáfan sem til skoðunar er, er aðgengileg á netinu [3]. Þar kemur meðal annars fram að gert er ráð fyrir að hanna megi eftir einhverjum af þremur aðferðum, þar sem ein þeirra er að nota fræðileg burðarþolshönnunarforrit, án þess að skilgreint sé nánar hvaða líkan skuli notað í því sambandi. Hinar tvær aðferðirnar byggja meira á reynslugildum og eru tiltölulega einfaldar í notkun, þannig að þær eru langoftast (eða alltaf) teknar fram yfir fræðilegar aðferðir.

Í ljósi ofangreinds, var skilgreint verkefni það sem þessi skýrsla fjallar um. Markmið þess var að stuðla að því að héraðs verði teknar upp aðferðir við burðarþolshönnun

sem byggja á fræðilegum grunni, með það í huga að slíkt leiddi til hagkvæmari uppbygginga vega, en í tilvikum þar sem niðurstöður eru fengnar með reynsluáferð, þar sem lítill sveigjanleiki er í vali á þykktum laga. Fyrsta skrefið í verkefninu var að skoða valin forrit og í framhaldi af því átti að kynna þau fyrir aðilum innan Vegagerðarinnar sem stunda burðarþolshönnun, með það í huga að þeir prófuðu þau meðfram sínum daglegu störfum. Þrjú líkön voru skoðuð nánar, sjá næsta kafla þessarar skýrslu, en vegna þess að þau eru öll enn á þróunarstigi og gjarnan koma upp villur við keyrslu þeirra, var ákveðið að bíða með að láta þau í prófun hjá öðrum. Það virðist sammerkt með þróun þessara líkana, að tímamörk sem sett hafa verið eru ekki haldin og vinnan tekur lengri tíma en reiknað var með, hvort sem það er vegna þess að það er ekki haft sem forgangsverkefni, eða vegna þess að erfitt er að ná fram markmiðum sem menn hafa sett sér.

Að þessu verkefni unnu Þórir Ingason á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og Haraldur Sigursteinsson hjá Vegagerðinni, en verkefnið var styrkt af Rannsókn- og þróunarsjóði Vegagerðarinnar.

2 Forrit til skoðunar

Þrjú líkön voru skoðuð nánar, þ.e. MMOPP frá Danmörku, MnPave frá Minnesota í Bandaríkjunum og AASHTO 2002 frá Bandaríkjunum. Hér á eftir verður gerð grein fyrir helstu atriðum sem fram komu við þessa skoðun og forritunum lýst nánar.

2.1 AASHTO 2002

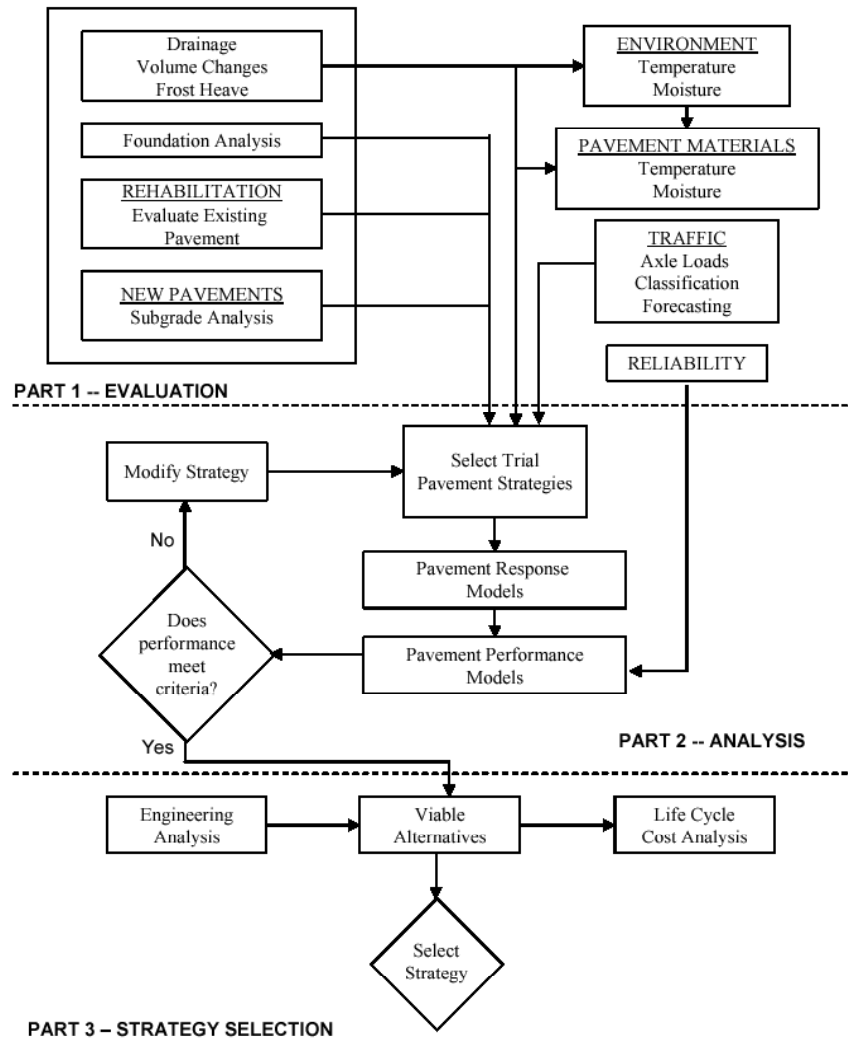
Sú útgáfa sem hér var skoðuð, vorið 2003, er beta-útgáfa sem enn er í vinnslu og er til dæmis ekki hægt að nota SI-einingakerfið við reikninga¹. Með útgáfunni fylgdu gögn, meðal annars tæplega 1000 blaðsíðna leiðbeiningar [4]. Í gögnunum kemur fram að þessi nýja aðferð er í grundvallaratriðum mjög mikil breyting frá fyrri aðferðum sem notaðar hafa verið í Bandaríkjunum. Mesta breytingin er fólgin í því að tillaga að lausn er skoðuð með tilliti til þess hvernig ástand vegarins (hjólfaramyndun, sléttleiki, sprungumyndun o.s.frv.) breytist yfir líftímann og það (ástandið) er borið saman við mörk sem sett eru. Ef tillagan stenst ekki kröfur, er henni breytt og aftur skoðað hvernig ástandið breytist með tíma, þar til settu marki er náð.

Helstu atriði hönnunarinnar samkvæmt þessum tillögum eru sýndar á mynd 1. Hönnunin er gerð í þremur stigum. Fyrsta stig er fólgið í að skilgreina inngangsstærðir í greiningunni. Annað stig er greining á svörun uppbyggingar gagnvart álagi og skilum (“structural/performance analysis”). Sú greining er fólgin í ítrun, sem byrjar á að menn velja ákveðna uppbyggingu til dæmis eitthvað “sem hefur alltaf verið notað”. Svörun og skil eða frammistaða er síðan reiknuð og borin saman við kröfur. Greiningin er gerð þannig að daglegar, árstíðabundnar og langtíma breytingar eru skoðaðar og ástand reiknað fyrir 2 vikna tímabil í senn fyrir sveigjanlegar uppbyggingar (mánuð fyrir steypt slitlög) og heildarskemmdir yfir hönnunartímann, eru samanlagðar skemmdir hvers tímabils. Ef reiknuð frammistaða uppfyllir ekki settar kröfur, þarf að gera breytingar á uppbyggingunni til að ná því fram. Þriðja stigið

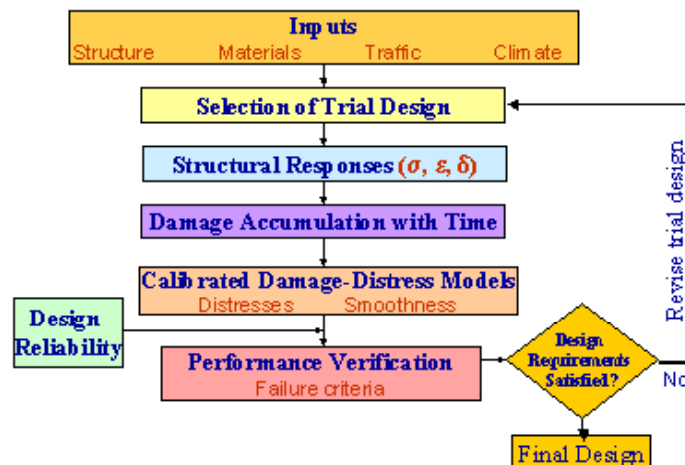
¹ Þróun þessa líkans hefur gengið mun hægar er gert var ráð fyrir (sjá heimasíðu NCHRP (<http://www4.nas.edu/trb/crp.nsf>). Vorið 2003 var gert ráð fyrir að uppkast (“draft”) af forritinu, með enska einingakerfinu, yrði til við árslok 2003. Nýjustu upplýsingar haustið 2003, benda til að þetta verði þó ekki fyrr en árið 2005. Hins vegar er nú gert ráð fyrir að þá verði líkaninu dreift endurgjaldslaut til vegagerða í öllum fylkjum Bandaríkjanna, en telja verður að það auki líkur á að það komist í almenna notkun.

er svo fólgið greiningu lausnanna, bæði verkfræðilega og eins samkvæmt svonefndri lífskostnaðargreiningu (“life cycle cost analysis”). Einfeldari mynd af 2. hluta aðferðarinnar er sýndur á mynd 2. Inn í þessa reikninga er hægt að taka áreiðanleika (“reliability”).

Gerð var tilraun til að keyra forritið og er þeirri tilraun lýst í viðauka I.



Mynd 1: Helstu atriði hönnunar samkvæmt tillögu AASHTO 2002



Mynd 2: Nánar um hluta 2 í hönnuninni, sbr. mynd 1.

2.2 MnPave frá Minnesota

Hér hafa verið skoðaðar tvær útgáfur, annars vegar útgáfa frá árinu 2001 (útgáfa 5.0) og hins vegar frá árinu 2002 (útgáfa 5.1). Fyrir báðar útgáfurnar kemur fram að þær innihalda líkön sem ekki hafa verið kvörðuð og þær eru eingöngu til þess að menn geti skoðað forritin til að metið þau sem slík, en ekki til að nota þau við hönnun. MnPave forritið var þróað í samvinnu háskólans í Minnesota og Vegagerðarinnar í fylkinu. Í fyrri útgáfunni sem hér var skoðuð eru mun meiri möguleikar á ýmis konar breytingum og inngripi þess sem vinnur með forritið, en margt af því hefur verið fellt út úr seinni útgáfunni.

Í heimild [5] kemur fram að forritið hafi verið þróað út frá upplýsingum sem safnast hafa í svokölluðu Mn/ROAD rannsóknarverkefni sjá heimild [6], auk upplýsinga frá allt að 40 ára gömlum tilraunaköflum um allt Minnesota ríkið. Forritið er þannig “mechanistic-empirical”, þ.e. í því er tengt saman reynsla frá Minnesota og útreiknuð svörun uppbyggingar gagnvart álagi. Útreikningarnir eru gerðir með línulega fjaðrandi marglaga líkani.

Forritinu er að nokkru lýst í heimild [7] sem og á heimasíðu þess [8]. Þar kemur fram að í líkaninu eru tvenns konar skemmdir skoðaðar og taldar ákvarðandi fyrir endingu uppbyggingarinnar. Annars vegar er það þreytubrot í slitlagi (sprungumyndun), fundið með reynslusambandi reiknaðrar streitu í neðri brún bikbundins slitlags og sprungumyndunar. Hins vegar er það svo hjólfaramyndun, sem fundin er með reynslusambandi milli þrýstistreitu í yfirborði undirbyggingar (“subgrade”) og hjólfaramyndunar. Einnig er hámarksspenna í miðju óbundnu burðarlagi skoðuð, a.m.k. í nýrri útgáfum. Forritið tekur tillit breytilegs loftslags með því að reikna með mismunandi eiginleikum efna á mismunandi tímum ársins. Þá getur það einnig tekið tillit til breytileika í stífnistuðlum, þykktum og álagi við reikninga sína. Það getur þannig reiknað áreiðanleika niðurstaðnanna (beitir Monte Carlo hermun).

Í heimildum [7] og [8] kemur einnig fram að í forritinu eru þrjú stig, á ensku nefnd “basic”, “intermediate” og “advanced”. Það ræðst af nákvæmni og magni inntaksupplýsingar, hvert af þessum þremur stigum er notað.

Það kemur einnig fram í heimild [7], að sérfræðingar í Minnesota munu meta AASHTO 2002 líkanið og e.t.v. taka það upp þegar það er tilbúið.

Gerð var tilraun til að keyra báðar áður nefndar útgáfur forritsins hér og er þeim tilraunum lýst í viðaukum II og III.

2.3 MMOPP forritið

Í Danmörku er staðall fyrir hönnun veguppbygginga í endurskoðun. Samkvæmt tillögu sem gefin var út 2001 [9], er gert ráð fyrir að gera megi hönnun í þremur stigum. Fyrst er “katalog” stig, þar sem gerð uppbyggingar er flett upp í töflu. Þá kemur “analytisk empirisk” stig, þar sem hannað er á grunni krafa út frá forskilgreindum eða notendavöldum umferðar- og efniseiginleikum. Þriðja stigið er svo hönnun með hermun, þar sem breyting á ástandi vegarins sem fall af tíma er reiknað. MMOPP forritið getur hannað bæði eftir stigi 2 og 3.

Hér var skoðuð beta-útgáfa af forritinu (nefnd Beta Test Version 2). Þessi útgáfa getur reiknað fyrir mjúkar, hálfstífar og steypar uppbyggingar, samkvæmt hönnunarstigi 2, en hermunina, eða hönnunarstig 3, er aðeins hægt að gera fyrir mjúkar vegbyggingar. Þessi útgáfa gildir einnig aðeins fyrir nýbyggingar, en stefnt er að því að taka inn hönnun styrkinga síðar. MMOPP forritið getur tekið mismunandi niðurbrot eftir árstíðum inn í reikninga sína, og hefur það umfram önnur líkön að reikna “í rauntíma”, þ.e. það reiknar áraunina í réttri tímaröð svo að áhrif niðurbrots tímabilið á undan hefur áhrif á reikningana fyrir viðkomandi tímabil. Önnur forrit reikna yfirleitt aðeins áhrif heildarumferðarinnar deilt á mismunandi tímabil ársins og taka þannig ekki inn “keðjuáhrif” skemmdanna.

Hermihluti MMOPP líkansins samanstendur af 6 mismunandi forritabútum (líkönum) sem eru veghlotslíkan (“befæstelsesmodel”), álagslíkan (“belastningsmodel”), loftslagslíkan (“klimamodel”), svörunarlíkan (“responsmodel”), niðurbrotslíkan fyrir malbik (sprungumyndun) (“strukturel nedbrydning (revner)”) og líkan fyrir varanlega samþjöppun (sléttleiki og hjólför) (“permanent deformation (jævnhed og sporköring)”). Þessum líkönum er hverju fyrir sig lýst nánar í viðauka IV við þessa skýrslu.

Gerð var tilraun til að keyra forritið hér, bæði samkvæmt stigi 2 og einnig hermihlutann, sjá viðauka IV. Fram kemur að stig 2 er nokkuð bundið dönsku hönnunarreglunum og erfitt er að koma inn með íslenskar uppbyggingar. Einnig koma fram villur sem erfitt er að yfirstíga. Hins vegar virðist vera hægt að keyra hermihlutann fyrir íslenskar uppbyggingar, en kvörðun við raunveruleikann vantar auðvitað enn.

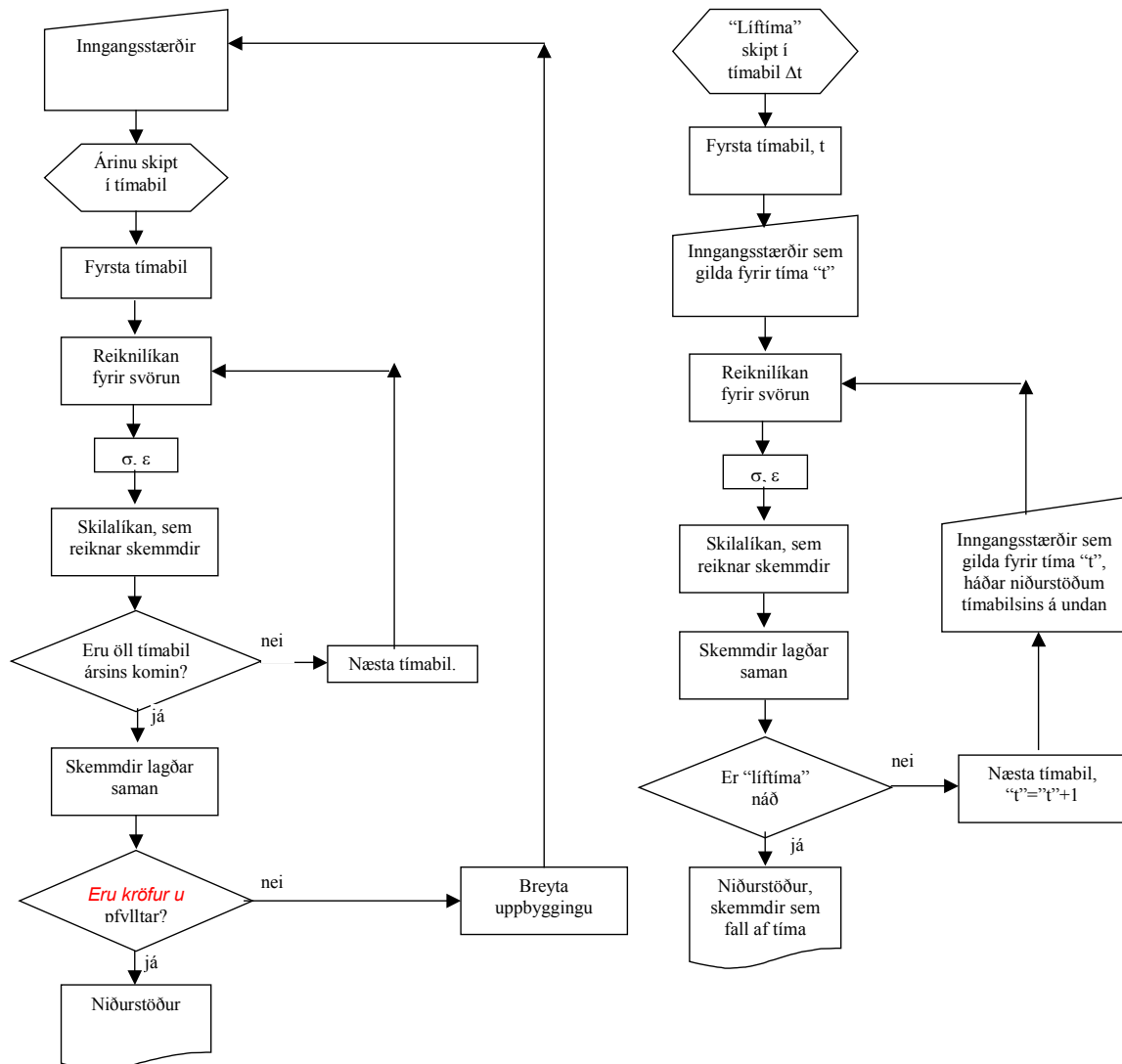
3 Samanburður forrita

Þau þrjú forrit eða hönnunarlíkön sem skoðuð voru hér, eru öll enn í þróun. Þau eru að mörgu leyti ólík. Öll taka þau á því að vegagerðarefni er breytilegt á mismunandi árstímum, en þó á mismunandi hátt. AASHTO 2002 og MnPave reikna svörun og afleiðingar álagsins fyrir þessar mismunandi aðstæður og leggja svo saman fyrir allt tímabilið sem til athugunar er, meðan MMOPP vinnur “í rauntíma”, þannig að það tekur tillit til að niðurbrot næsta tímabils á undan hefur áhrif á svörun uppbyggingarinnar á viðkomandi tímabili. Á mynd 3 eru flæðirit sem ætlað er að skýra þennan mun.

Öll forritin reikna með að neðri brún bikbundins slitlags, sé krítískur staður varðandi sprungumyndun í slitlaginu. MnPave forritið miðar síðan við yfirborð undirbyggingar varðandi hjólfaramyndun. AASHTO 2002 og MMOPP reikna hins vegar samþjöppun í einstaka lögum og leggur þau saman þegar hjólför eru reiknuð.

Reiknilíkön sem notuð eru til að reikna svörun eru mismunandi í forritunum. AASHTO 2002 byggir á smábútaaðferðinni (“Finite Element”), MnPave notar línuleg marglaga kerfi og MMOPP gerir það líka, en beitir aðferð Odemarks, svokallaðri jafngildisþykktaraðferð (sjá t.d. heimild [10]). Í MMOPP forritinu eru reikningar endurteknir mjög oft og því nauðsynlegt að hafa reikniaðferðina fljótlega. Odemarksaðferðin uppfyllir þau skilyrði. Sökum þess að AASHTO 2002 beitir smábútaaðferðinni, eru reikningar tímafrekastir þar. Þó smábútaaðferðin hafi augljóslega betri möguleika á að taka á ýmsum eðlisfræðilegum eiginleikum vegagerðarefni, s.s. að stífni óbundinna efna er spennuháð, bikbundin efni hafa seigju-teygju eiginleika o.s.frv. má geta þess að höfundur MMOPP forritsins Per Ullidtz hefur gjarnan sagt (sjá t.d. heimild [11]), að þó freistandi sé að trúa því að flóknari líkön gefi betri niðurstöður en einföld líkön, þá þurfi það ekki að vera svo. Ef niðurstöður einfaldra líkana eru jafn góðar (eða betri) borið saman við mæld gildi, ætti fremur að nota einföldu líkönin, a.m.k. í rútínuvinnu.

Varðandi notkun þessara þriggja forrita sem hér voru prófuð, má segja að þau séu tiltölulega einföld í notkun þó öll þurfi örlitla yfirlegu í tengslum við inngangsstærðir, sérstaklega ef ekki er hægt að nota stöðluð gögn. Hins vegar verður að nefna að í öllum tilvikum lentum við í vandræðum, þannig að forrit frusu eða luku ekki reikningum. Verður það að skrifast á að þau eru enn í þróun. MMOPP, samkvæmt hönnunarstigi 2 og MnPave útgáfa 5.1 eru talsvert staðbundin og erfitt að setja íslenskar aðstæður inn í þau. Hermihlutinn af MMOPP og MnPave útgáfa 5.0 auk AASHTO 2002 er sveigjanlegra að þessu leyti.



Mynd 3: Flæðirit sem sýna gang AASHTO 2002 og MnPave annars vegar (til vinstri) og MMOPP hins vegar (til hægri)

4 Lokaorð

Það er skoðun skýrsluhöfunda, að AASHTO 2002 og MMOPP (hermihlutinn) komi til greina í notkun hér eftir ákveðan staðfærslu. MnPave útgáfa 5.0 kæmi einnig til greina, verði hún þróuð frekar, en þó verður að hafa fyrirvara á því, þar sem komin er útgáfa 5.1 sem er mjög staðbundin fyrir Minnesota-fylki í Bandaríkjunum. Einnig verður að telja það til ókosta MnPave að það miðar einungis við yfirborð undurbyggingar, þegar hjólfaramyndun er reiknuð, meðan bæði AASHTO 2002 og MMOPP taka inn samþjöppun í öllum lögum. Hér má einnig nefna að MMOPP forritið hefur þann kost umfram hin, að uppfylla að nokkru leyti þær hugmyndir sem komu fram í verkefnunum COST 333 og AMADEUS (sjá heimildir [1] og [2]). Hins vegar er ekki ólíklegt að ef vel tekst til með þróun AASHTO 2002 að þá muni það, af sögulegum ástæðum, vera líklegt til að ná fótfestu víðar en í Bandaríkjunum. Líkur á því aukast svo enn meir, ef forritinu verður dreift endurgjaldslaust til vegagerða í öllum fylkjum Bandaríkjanna, eins og fram kemur fyrr hér í þessari skýrslu.

Eins og fram kemur í inngangi skýrslunnar, teljum við ekki tímabært að kynna þessi forrit frekar fyrir notendum hérlendis, með það í huga að menn fari að prófa þau í

daglegum störfum. Rétt er að bíða og sjá framvindu mála annars staðar, einkum hvað varðar AASHTO 2002. Hluti af innleiðingu hönnunarlíkana hér er að staðfæra verður þau og þegar hefur verið unnið nokkuð af verkefnum sem nýtast munu í þá átt, s.s. hraðaþálagspróf í skala 1:1, dynamísk þríasapróf á óbunduðum eignum, dynamísk próf á bikunduðum eignum, samband rakastigs í vegi og burðarþols og fleira. Rétt er að halda verkefnum í þessum dúr áfram, ef til vill með markvissari hugsun um að þau nýtist í samhengi við kvörðun hönnunarlíkana.

Heimildir:

- [1] Þórir Ingason: “Þátttaka Íslands í COST verkefni: “Development of New Bituminous Pavement Design Method” – COST 333, skýrsla BUSL nr. B-20, maí 1999.
- [2] Þórir Ingason: “AMADEUS (Advance Models for Analytical Design of European Pavement Structures)”, skýrsla BUSL nr. B-28, ágúst 2000.
- [3] <http://www.vegvesen.no/vegnormaler/hb/018/index.html>
- [4] “2002 Design Guide – design of new and rehabilitated pavement structures – Draft final report” ERES Division of ARA, Inc. Illinois, desember 2002.
- [5] Eugene L. Skok, David H. Timm, Marcus L. Brown and Timothy R. Clyne: “Best Practices for the Design and Construction of Low Volume roads”, Minnesota local road research board, mars 2002.
- [6] http://mnroad.dot.state.mn.us/research/MnROAD_Project/MnROADProject.asp
- [7] T² Minnesota Technology Transfer Program, Newsletter July-September 2001, sjá: <http://www.cts.umn.edu/T2/TechExch/2001/julsept/mnpave.html>
- [8] <http://www.mrr.dot.state.mn.us/research/mnpave/mnpave.asp>
- [9] “Konstruktion og vedligeholdelse af veje og stier. Hæfte 3.3: Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger”, Vejdirektoratet Danmark, uppkast í maí 2001.
- [10] Per Ullidtz: “Modelling Flexible Pavement Response and Performance”, (síða 38), Politeknisk Forlag, Danmörk, 1998.
- [11] Per Ullidtz: “Analytical tools for design of flexible pavements”, keynote address, 9th International Conference on Asphalt Pavements, Kaupmannahöfn, 2002.

Skoðun AASHTO 2002 Design Guide

Almennt

Forritið var á diskum og þar eru einnig tæplega 1000 blaðsíðna leiðbeiningar. Fram kemur að þetta er beta-útgáfa og að mörgu leyti ófullkomin, enda kemur það fram í gögnum sem fylgja með.

Á bls. 1.1.1 í áður nefndum leiðbeiningum stendur þetta:

“The Design Guide represents a major change in the way pavement design is performed. The designer first considers site conditions (traffic, climate, subgrade, existing pavement condition for rehabilitation) and construction conditions in proposing a trial design for a new pavement or rehabilitation. The trial design is then evaluated for adequacy through the prediction of key distresses and smoothness. If the design does not meet desired performance criteria, it is revised and the evaluation process repeated as necessary. Thus, the designer is fully involved in the design process and has the flexibility to consider different design features and materials for the prevailing site conditions”.

Í kafla 1.1.1.3, eru margar ástæður gefnar upp fyrir nauðsyn þess að endurskoða hönnunarreglurnar sem voru þróaðar upp úr 1960.

Á bls. 1.1.5 stendur þetta um hugmyndina í aðferðinni:

“The design philosophy embraced by this Guide includes the following major tenets:

- The Guide generally applies validated, state-of-the-practice technologies.
- The Guide provides designers with the versatility to consider local design options.
- The Guide provides an equitable design basis from the standpoint of pavement type selection.
- The Guide addresses both new and rehabilitation design issues.
- The Guide and associated software are user-friendly.
- The Guide provides for three hierarchical levels of design inputs that allow the designer

to match the level of effort to the importance of the project. The input levels also allow for using improved procedures that may be developed in the future.”

Á mynd á bls. 1.1.12 sjá hér á eftir, eru helstu atriðum hönnunarinnar gerð skil. Hönnunin er gerð í þremur stigum. Fyrsta stig er fólgið í að skilgreina inngangsstærðir í greiningunni.

Stig 2 er “structural/performance analysis”. Greiningin er ítrun, sem byrjar á að menn velja ákveðna uppbyggingu til dæmis eitthvað “sem hefur alltaf verið notað”. Svörun og framistaða er síðan reiknuð og borin saman við kröfur. Ef þær eru ekki uppfylltar, þarf að gera breytingar til að ná því fram.

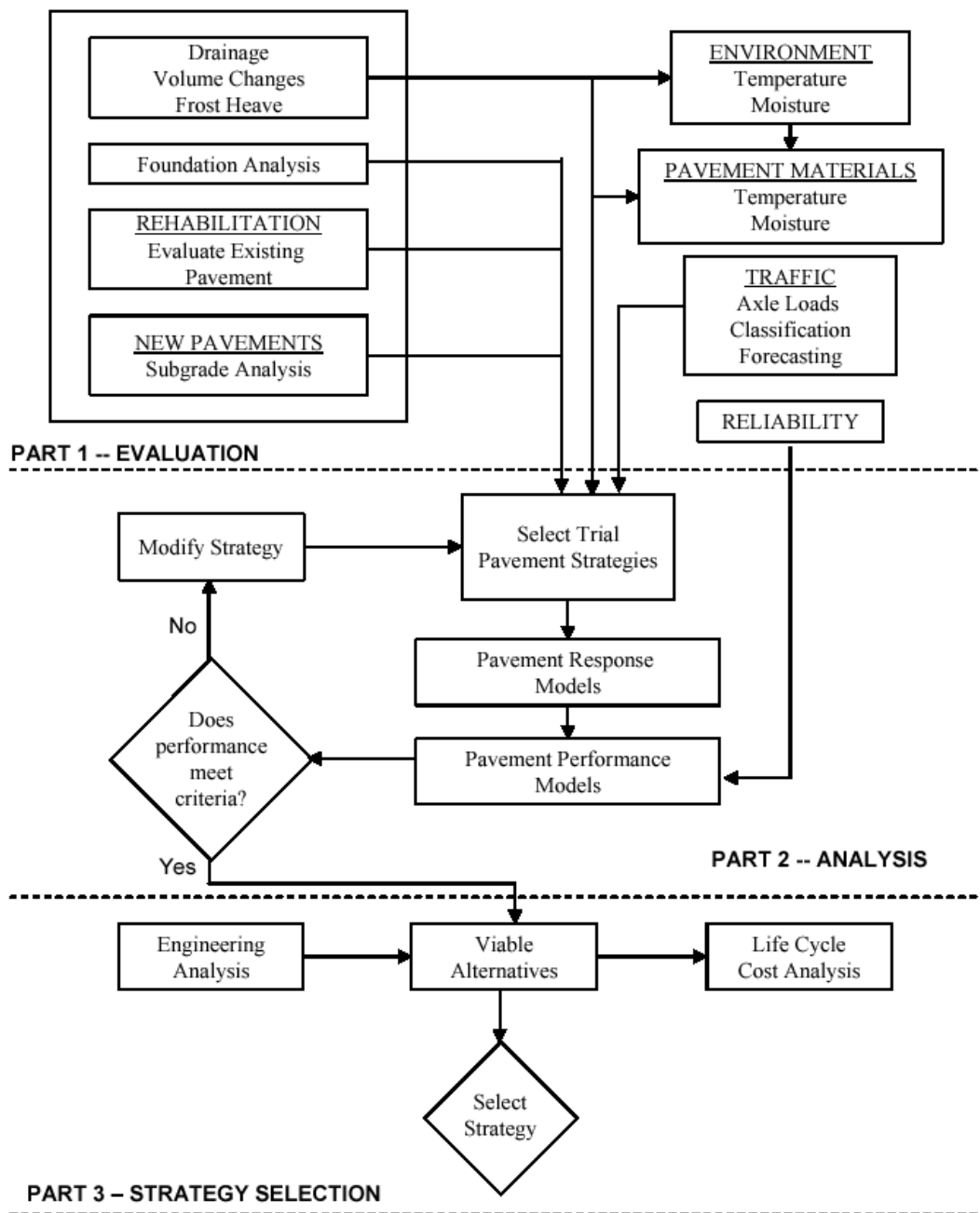
Þriðja stigið er fólgið í verkfræðilegri og lífskostnaðargreiningu (life cycle cost analysis) á lausnunum.

Samantekið er þetta:

“In summary, the design process for new and rehabilitated pavement structures includes consideration of the following:

- Foundation/subgrade.
- Existing pavement condition.
- Paving materials.

- Construction factors.
- Environmental factors (temperature and moisture).
- Traffic loadings.
- Subdrainage.
- Shoulder design.
- Rehabilitation treatments and strategies.
- New pavement and rehabilitation options.
- Pavement performance (key distresses and smoothness).
- Design reliability.
- Life cycle costs.”



Inngangsstærðirnar eru ákvarðaðar á þremur stigum, þ.e. 1. stig er byggt á mestum upplýsingum og 3. stig er einfaldast og háð mestri óvissunni.

Dæmi, “design example” sem fylgja í leiðbeiningaritinu eru eingöngu fyrir steypit slitlög.

“Help”

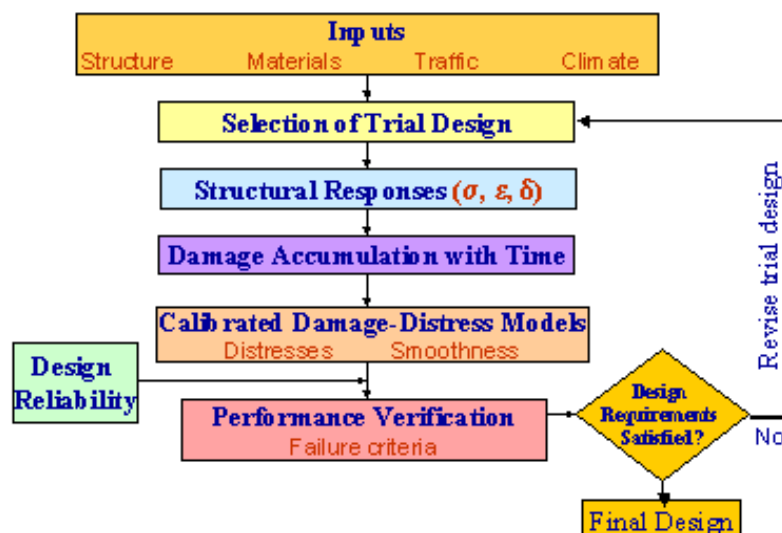
Ef “help”-gardiánan í forrininu er valin, koma fram upplýsingar um það. Farið var í gegnum þær og það helsta sem kom fram að mati ÞI rakið hér á eftir. Rétt er að taka fram að um er að ræða uppkast að þessum hjálpartexta, enda vantar talsvert uppá hann.

Í inngangi kemur þetta fram:

The 2002 Design Guide is extensive and comprehensive. It includes procedures for the analysis and design of new, reconstructed, and rehabilitated asphalt and concrete pavements, procedures for evaluating existing pavements, procedures for subdrainage design, recommendations for rehabilitation treatments and foundation improvements, and procedures for life cycle cost analysis. The design procedure, based on a mechanistic empirical methodology, is integrated into a software program called *DesignGuide*.

Samkvæmt þessu er þetta því afar ítarleg hönnunaraðferð, sem getur tekið á ýmsum þáttum hönnunar, bæði fyrir nýbyggingar og styrkingar.

Hönnunin fer fram samkvæmt neðanskráðu flæðiriti. Aðferðin er “ítrátíf”, þ.e. ákveðin uppbygging er valin og kannað hvort hún stenst kröfur, ef ekki þá þarf að breyta henni. Eins og þarna kemur fram, þarf að setja inn gögn um uppbygginguna, efnið, umferðina og loftslag. Síðan er uppbyggingin sem prófa á í fyrstu umferð valin. Svörun uppbyggingarinnar er reiknuð og breytileiki í skemmdum (t.d. hjólför, sprungur, sléttleiki) lagður saman yfir tíma. Niðurstöðurnar eru bornar saman við mörk sem sett eru, t.d. hámarks hjólför, hámarks ósléttleika o.s.frv. og þannig ákveðið hvort hönnunin telst fullnægjandi. Hægt er að taka inn “reliability” á mörkin sem sett eru, þannig að hægt er til dæmis að ákveða að maður vilji að endingin sé 20 ár með t.d. 95% líkum.



Eins og fram kemur eru skemmdir lagðar saman yfir tíma. Forritið reiknar eitt tímabil í einu og leggur skemmdirnar svo saman. Fyrir mjúk slitlög er hvert tímabil 2 vikur (en 1 mánuður fyrir steypit slitlög). Á þessu tímabili eru daglegar, árstíðarbundnar og

langtíma breytingar á efniseiginleikum, umferð og loftslagi skoðaðar. Heildar skemmdir yfir hönnunartímanna eru samanlagðar skemmdir hvers tímabils. Ekki er um “rauntímareikninga” að ræða, þ.e. ekki er tekið tillit til skemmda tímabilsins á undan, þegar viðkomandi tímabil er reiknað.

Skemmdir sem skoðaðar eru í AASHTO 2002 design guide eru:

“...rutting, fatigue cracking, and thermal cracking in asphalt-surfaced pavements, joint faulting and transverse cracking in jointed plain concrete pavements, and punchouts in continuously reinforced concrete pavements. In addition, pavement smoothness is considered through the commonly used International Roughness Index, or IRI”.

Þegar verið er að keyra forritið, má leita hjálpar, með því að hægri-smella á viðkomandi atriði og ef hjálp er fyrir hendi, sprettur hún fram sem texti á skjánum, til dæmis er hægt að fá upplýsingar um dæmigert bil sem ákveðin eiginleiki hefur fyrir ákveðið efni o.s.frv. Til að fá þetta fram þarf að hægri-smella og færa bendilinn yfir viðkomandi svæði.

Í hjálpinni er svo haldið áfram með lýsingu á þeim inntaksgögnum sem skrá þarf, sjá næsta kafla þessara minnisþunkta um tilraun til að keyra forritið.

Fram kemur að forritið notar Finite Element líkan til að reikna spennur og streitur. Fyrir vikið geta reikningar með líkaninu verið nokkuð tímafrekir.

Þegar hjólfaradýpt er skoðuð fyrir mjúkar uppbyggingar, er hún reiknuð út frá samþjöppun í bikbundna slitlaginu og uppbyggingunni í heild. Þegar þetta er skoðað í líkaninu, er aðeins reiknað með tveimur af þremur stigum samþjöppunnar, en þessi þrjú stig eru “primary”, “secondary” og “tertiary”. Fyrsta stigið (“primary”) er fólgið í fremur mikilli plastískri samþjöppun sem stafar af breytingum í holrýmd. Annað stigið (“secondary”) er mun minni samþjöppun, sem stafar af breytingu í holrýmd, en einnig skúfkrafti (korn færast til). Þriðja stigið (“tertiary”) stafar nær eingöngu af skúfkraftinum og það er ekki tekið tillit til þess í reikningum líkansins.

Engar upplýsingar eru í “help” varðandi umferð. Er það miður, þar sem sumt er óljóst þar. Einnig er afar lítið um loftslag, nema sagt er að notað sé forrit sem heitir EICM, en notandi AASHTO 2002 þarf ekkert að vita um það, nema hann þarf að setja inn upplýsingar um loftslag, eins og óskað er eftir.

Tilraun með að keyra forritið

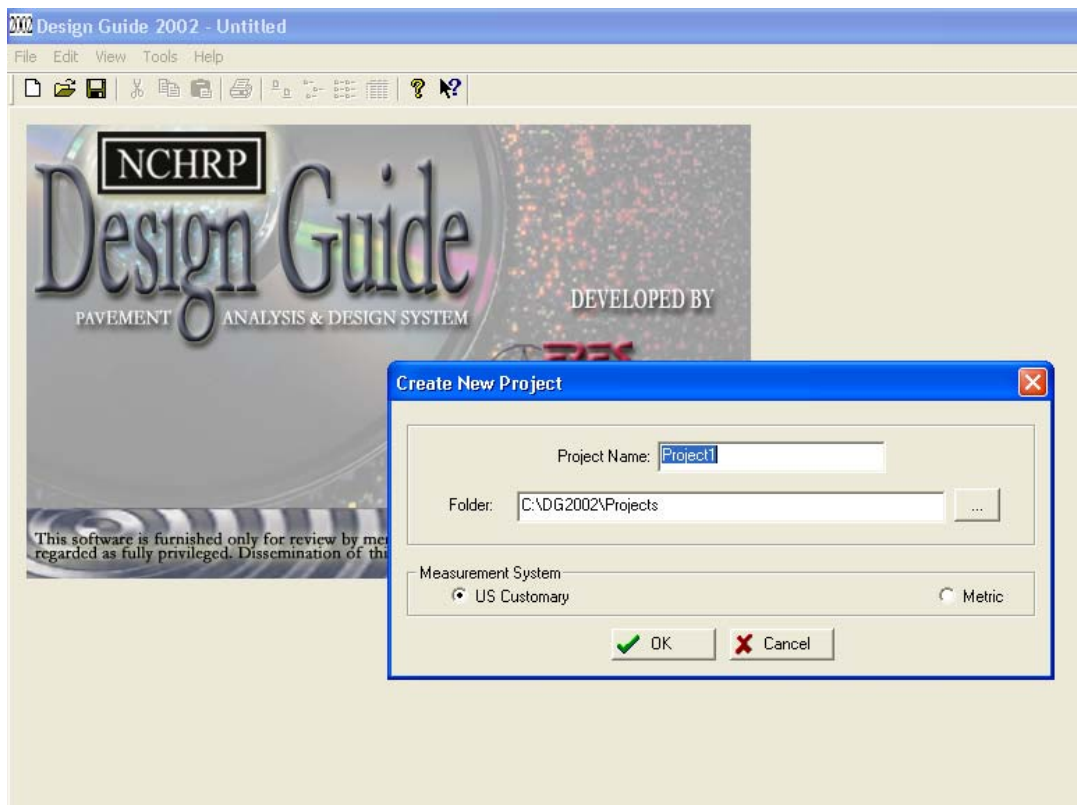
Geri tilraun til að fara með eitt dæmi í gegnum forritið. *[Byrjað var með að nota SI-einingakerfið, en forritið gat ekki klárað það og virðist sem útgáfan sem skoðuð var innihaldi einhverja villu í þeim ham (SI-einingahamnum)¹, en sú villa kemur ekki fram ef enska kerfið er notað. Því var farið aftur í gegnum dæmið, þannig að einingar sem notaðar voru voru umreiknaðar í enska kerfið. Í fljótu bragði virðist ekki vera hægt að taka gamla skjalið og bara breyta einingakerfinu. Einingakerfi er valið þegar nýtt verkefni er byrjað og ekki hægt að breyta því eftir það. Því þurfti hér að fara yfir allan innsláttinn aftur.]*

¹ Síðan hefur komið í ljós að SI-einingahamurinn á alls ekki að vera tilbúinn enn, þó svo hægt hafi verið að velja hann í þessari útgáfu.

Upphafsskjárin lítur svona út:

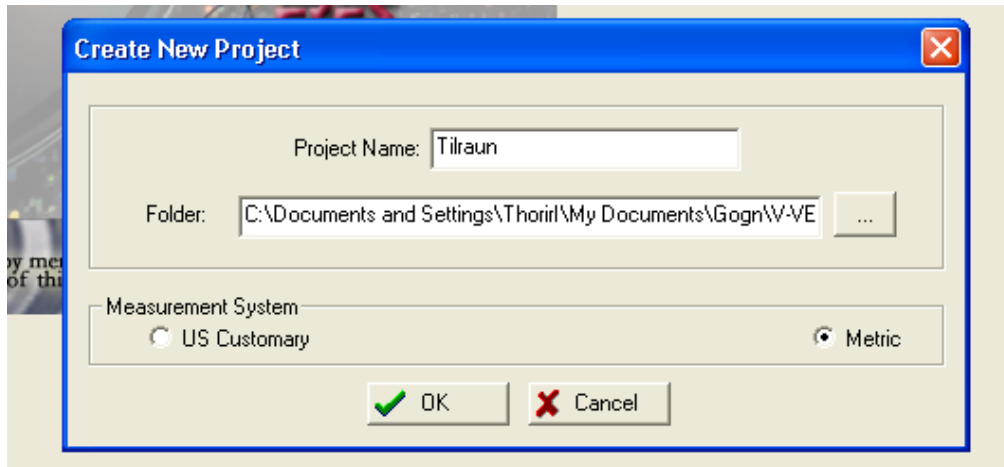


Til að byrja nýtt verkefni er valið “File” og “New” þar undir. Þá birtist þetta:

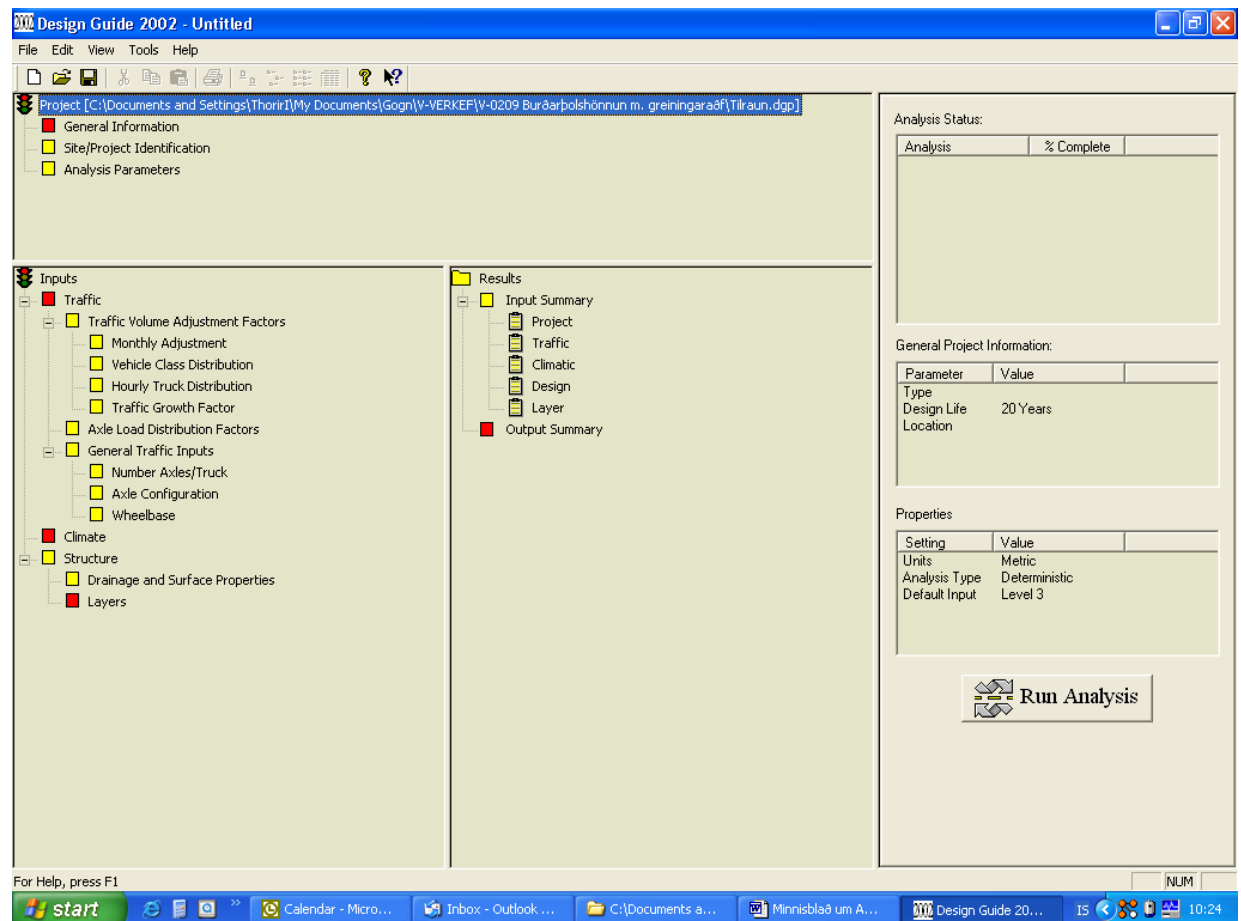


Skrifa þarf heiti verkefnisins, velja hvar gögnin eru geymd og velja hvaða mælieiningu skal miða við, ameríska eða SI kerfið. Val einingakerfisins er gert hér og ekki hægt að breyta því fyrir þetta verkefni eftir það.

Eftirfarandi var val ÞI í fyrri tilraun, en síðan var þetta endurtekið og skipt í US Customary:



Þegar valið er “OK” birtist þessi skjár:



Efsti ramminn er fyrir almennar upplýsingar, ramminn til vinstri þar fyrir neðan er svo fyrir inntaksgögnin og sá til hægri er fyrir niðurstöður. Liturinn í kössunum fyrir framan einstaka atriði gefa til kynna hver staðan er, þannig að gult þýðir að sjálfgefin gildi séu valin, rautt þýðir að það vantar þessar upplýsingar til að greiningin geti hafist en grænt að allar upplýsingar séu komnar inn. Talsvert þarf að slá inn af upplýsingum eins og fram kemur hér á eftir.

General information:

Project Name: tilraun2.dgp

Description:

Design Life (years): 20

Base/Subgrade Construction Month: September Year: 2002

Pavement Construction Month: September Year: 2002

Traffic open month: September Year: 2002

Type of Design

New Pavement

Flexible Pavement Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)

Restoration

Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)

Overlay

Asphalt Concrete Overlay PCC Overlay

OK Cancel

Hanna skal veg með sveigjanlegu slitlagi til 20 ára. Eins og þarna kemjur fram er spurt um hvernær burðarlag og slitlag er byggt og hvenær umferð er hleypt á veginn (allt valið september 2002 hér). Þessar upplýsingar eru notaðar í “climat”, þannig að reikningar sem tengjast raka í óbundna efninu hefjast þegar burðarlagið hefur verið byggt. Eiginleikar slitlagsins eru reiknaðir frá þeim mánuði sem slitlagið var klárað. 20 ára tímabilið sem hannað er fyrir, hefst í þeim mánuði sem umferð er hleypt á.

Site/Project identification: Þetta var slegið inn skv. eftirfarandi, en þessar upplýsingar hafa engin áhrif á sjálfa greininguna, aðeins til að halda utan um verkefnið:

Location: Tilraun

Project ID: Tilraun

Section ID: Tilraun

Functional class: Vegtegund A1

Date: 5. 5. 2003

Station/milepost format: Kilometers: 0.000

Station/milepost begin: 0

Station/milepost end: 500

Traffic direction: East bound

OK Cancel

“Analysis parameters”: Þar er hægt að velja eitt og annað og hér er ákveðið hvaða viðmið skulu vera í hönnuninni. Hér var valið skv. eftirfarandi:

Criteria	Limit	Reliability
<input checked="" type="checkbox"/> Terminal IRI (in/mile)	172	50
<input type="checkbox"/> AC Surface Down Cracking Long. Cracking (ft/500 ft)		
<input type="checkbox"/> AC Bottom Up Cracking Alligator Cracking (ft ² /500 ft)		
<input type="checkbox"/> AC Thermal Fracture (ft/500 ft)		
<input type="checkbox"/> Chemically Stabilized Layer (Fatigue Fracture)		
<input type="checkbox"/> Permanent Deformation - AC Only (in)		
<input checked="" type="checkbox"/> Permanent Deformation - Total Pavement (in)	0.75	50

Hef þarna valið tvenns konar performance criterium, annars vegar IRI og hins vegar hjólfaramyndun eða varanlega samþjöppun í yfirbyggingunni í heild [það ætti að vera í lagi, en í “help” má e.t.v. skilja það þannig að ekki sé hægt að taka IRI, nema með öllum hinum “kríteríunum”]. Hægt er að velja um “Deterministic” eða “Probabilistic”. Vel það fyrrnefnda en það þýðir að mörkin eru sett föst og reiknaður endingatími miðist við að þessum gildum sé náð nákvæmlega. Ef “probabilistic” er valið, er hægt að velja “reliability”, sem þýðir þá að menn fá að endingin sé einhver miðað við þessar líkur og kröfur sem settar eru (t.d. það eru 95% líkur á að vegurinn endist í X ár miðað við að 63 in/mi sé kríteríum fyrir IRI). Ef þetta er valið, þá þarf að setja upplýsingar um meðaltal og staðalfrávik inntaksgagna þegar þau eru slegin inn. (Nánar er fjallað um “reliability” í hjálparskránni og e.t.v er það ekki alveg eins einfalt og hér er lýst.)

Traffic input, gefur ansi marga möguleika og útfærslur. Setti AADT 100, sem er það lægsta sem gert er ráð fyrir. Í Traffic Volume Adjustment Factors er hægt að breyta mánaðarlegri dreifingu mismunandi gerða af ökutækjum (sjá hvaða ökutæki er um að ræða á næstu mynd). Á næstu mynd er sýnt hvernig gerðir ökutækja eru og hvert hlutfall er af hverri gerð, samkvæmt sjálfgefnu gildi. Því er auðvitað hægt að breyta til dæmis út frá staðbundnum mælingum hérlendis. Eins er hægt að breyta hvernig umferðin dreifist yfir daginn (hourly truck distribution) og hvernig hún eykst. Í öllum tilvikum voru sjálfgefin gildi valin, utan aukningu umferðar, sem miðuð er við 2% í stað 4%:

Class	AADTT	Vehicle Class
Class 4	1.8	Bus
Class 5	24.6	Van
Class 6	7.6	Truck
Class 7	0.5	Truck
Class 8	5.0	Truck
Class 9	31.3	Truck
Class 10	9.8	Truck
Class 11	0.8	Truck
Class 12	3.3	Truck
Class 13	15.3	Truck
Total	100.0	

Valin voru sjálfgefin gildi fyrir “axle load distribution factor”, en það eru upplýsingar um hvernig álag dreifist á viðkomandi öxulgerð, þ.e. hversu stórt hlutfall einfaldra öxla er með 7.000 kg álag o.s.frv. Athygli vakti að samkvæmt töflu sem sett er fram eru til dæmis einhver hluti ökutækja af class 4 (sjá mynd hér að framan) með þrefaldan öxul. Ástæðan er líklega sú að í class 4 eru “buses” og hugsanlega geta verið slíkir með þrefaldan öxul og einnig einfaldan öxul. Myndin af “vehicle classes” hér að frama er bara einföldun.

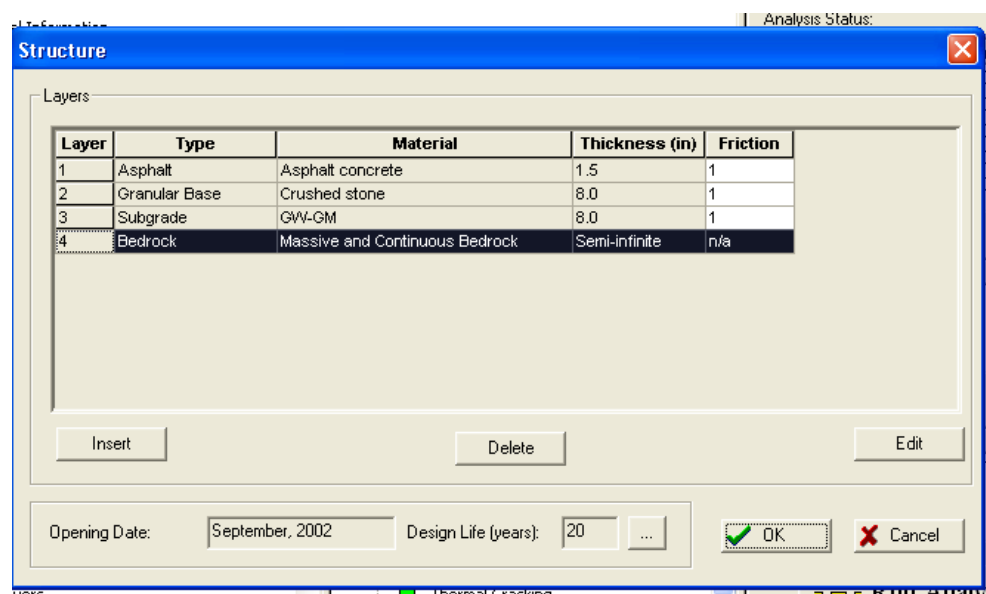
Í “General traffic input” voru einnig valin sjálfgefin gildi. Þar er um að ræða fjölda öxla af hverri gerð á hverjum bíl af hverjum klassa!! Gerð öxla (axle configuration) þar sem fram kemur breidd öxla, fjarlægð milli tveggja hjóla og fjarlægð milli öxla. Loftþrýstingur í dekki er sjálfvalinn 120 psi. Rétt er að taka fram að mjög mikið er hægt að eiga við upplýsingar um umferðina í þessu sem nefnt er hér að framan, en sjálfgefnu gildin voru valin til einföldunar.

Í “Climat”, er gengið út frá loftslagi í USA. Ef gert er ráð fyrir að útbúa eigin loftslagsinntaksgögn, þá er það miðað við að menn hafi upplýsingar frá ákveðnum veðurstöðvum, ekki er hægt að slá inn ný gögn. Hægt er að slá inn breidd og lengd og gefst þá möguleiki á að velja veðurstöðvar sem næst er því sem slegið er inn. Hægt er að láta “interpolera” frá allt að 6 stöðvum og er ráðlagt að menn geri það, þar sem sagt er að talsvert vanti af gögnum inn í ýmsar stöðvar. Í þeirri útgáfu sem skoðuð er nú (júní 2003), eru aðeins fáeinar stöðvar með (alla vega á læsilegu formi, hugsanlega er

hægt að þenja út einhverjar pakkaðar skrár til að fá fleiri með), enda munu skjölin vera mjög stór. Ljóst er af þessu að íslenskt veðurfar er ekki með í myndinni núna. Spurning hvort hægt sé að gera skrár út frá íslenskum gögnum, í samvinnu við Veðurstofuna. Hægt er að skoða gögnin í Notepad, en skýringar vantar við einstaka liði.

Ef slegin eru inn breidd og lengd fyrir íslenskar aðstæður fæst eðlilega lítið um nálægar stöðvar, engar eru norðar en um 47°N og ekki austar en 68° W (sem sagt nyrst og austast). Þegar síðan átti að velja ákveðna veðurstöð, kom í ljós að viðkomandi skrár voru ekki til staðar. Til að velja eitthvað var skrá fyrir Boston valin. Svo virðist sem ekki sé mögulegt að búa þessi gögn til “handvirkt”, líklega of mikið af gögnum sem þarf að slá inn, í leiðbeiningum er talað um hitastig, regn, vindhraða, sólskin, rakastig á klukkustunda grunni!!. Forritið EICM notar upplýsingarnar til að leiðrétta efnisstuðla út frá veðurfari, og er því lýst í kafla 3 í parti 2 af “bæklingnum” (1000 blaðsíðna!). Eins og fram kemur hér á eftir fraus forritið við að nota Boston en keyrði þegar Seattle var valið í staðinn.

Í “Structure” er veghlotið, sem prófa á í fyrstu tilraun, sett upp. Hér fyrir neðan er sýnt hvernig ég setti upp fyrir þetta tilvik (þykkt slitlags var reyndar 2 tommur!).



Hægt er að fara inn í hvert lag fyrir sig í vegbyggingunni hér fyrir ofan og gera breytingar. Fyrir malbikið (Asphalt), þarf að gefa upplýsingar um kornakúrfu, gerð biks og einnig upplýsingar um bikinnihald og fleira. Rakst á ákveðna örðugleika hvað það varðar að breyta bikinnihaldi. Það kemur þó líklega ekki að sök í þessu dæmi, þar sem ekki er gert ráð fyrir að skoða þurfi sprungumyndun í malbikinu, sbr hér að framan þegar “analysis parameter” var valið. Fyrir óbundnu efninu (granular base og subgrade) er hægt að slá inn upplýsingar um E-módúl. Forritið vill hafa módúlinn innan ákveðinna marka út frá efnisgerðinni. Sjálfvalin gildi voru valin fyrir önnur lög en asfaltið.

Sjálfvalin gildi fyrir “thermal cracking”.

Thermal Cracking

Level 1
 Level 2
 Level 3

Average tensile strength at 14 °F (psi): 575.86

Creep test duration (sec): 100

Loading Time sec	Creep Compliance (1/psi)		
	Low Temp (°F) -4	Mid Temp (°F) 14	High Temp (°F) 32
1	5.69939e-008	8.06877e-008	1.10359e-007
2	6.5049e-008	9.38362e-008	1.40803e-007
5	7.4015e-008	1.14562e-007	1.94303e-007
10	8.16106e-008	1.3323e-007	2.47905e-007
20	8.99857e-008	1.54941e-007	3.16294e-007
50	1.0239e-007	1.89162e-007	4.36474e-007
100	1.12898e-007	2.19987e-007	5.56883e-007

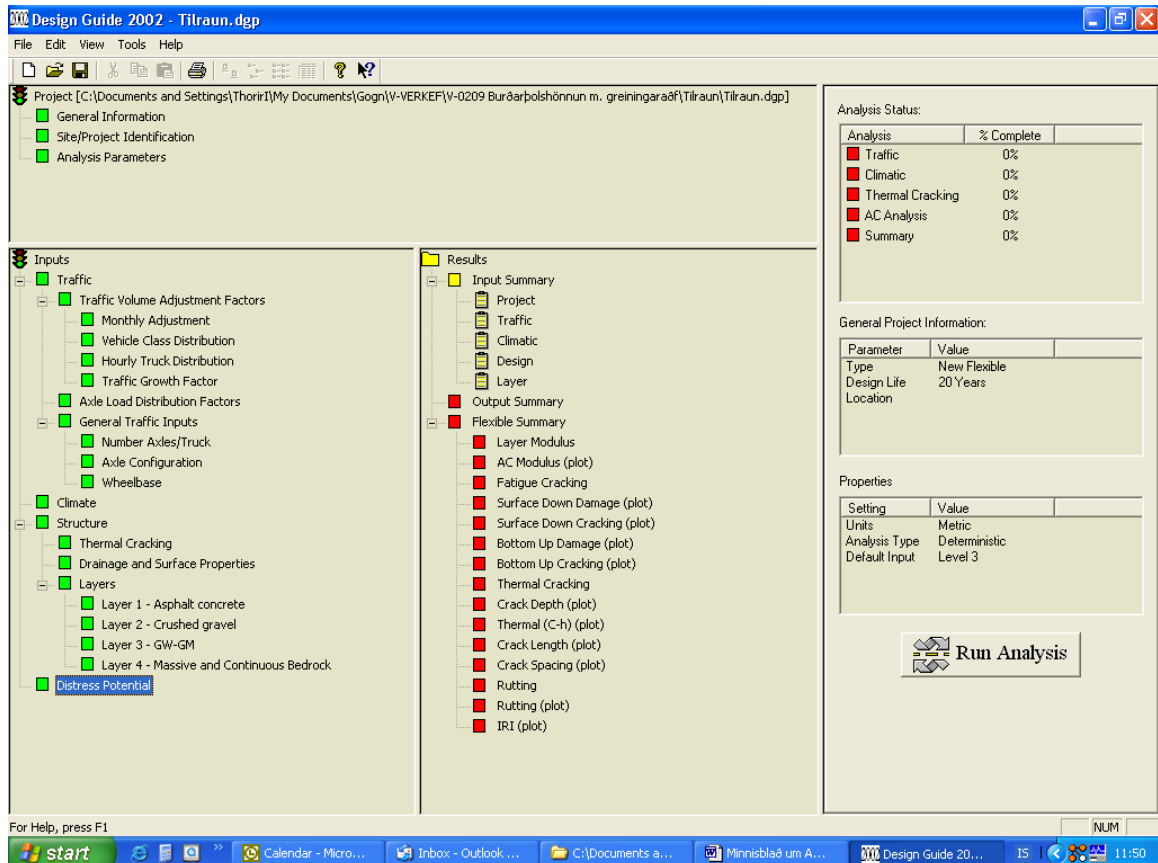
Compute mix coefficient of thermal contraction.
 Mixture VMA (%): 4
 Aggregate coefficient of thermal contraction: 1e-006
 Mix coefficient of thermal contraction (mm/mm/°C):

Sjálfvalin gildi fyrir “distress potential”.

Distress Potential

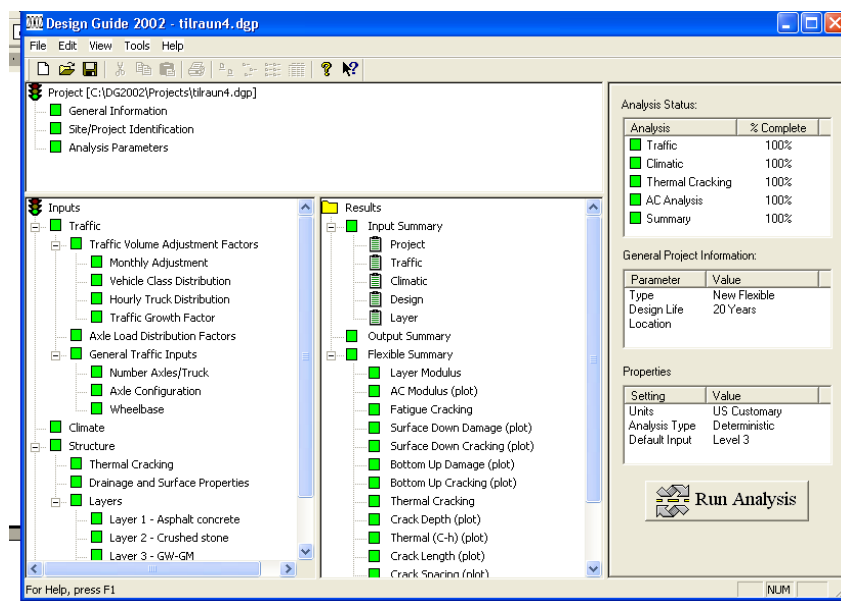
	Distress potential	Value	Standard error
Block cracking (% of total lane area):	None	40	0
Sealed longitudinal cracks outside of wheel path (ft/mile):	None	8.5	0
Patches (% of total lane area):			
Potholes (% of total lane area):			

Með þetta allt í höndunum er allt “inpútt” orðið grænt og hægt að keyra greininguna:

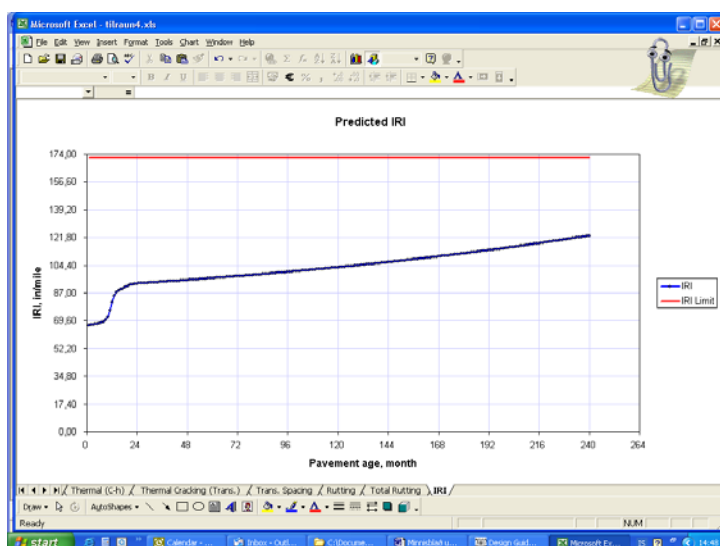
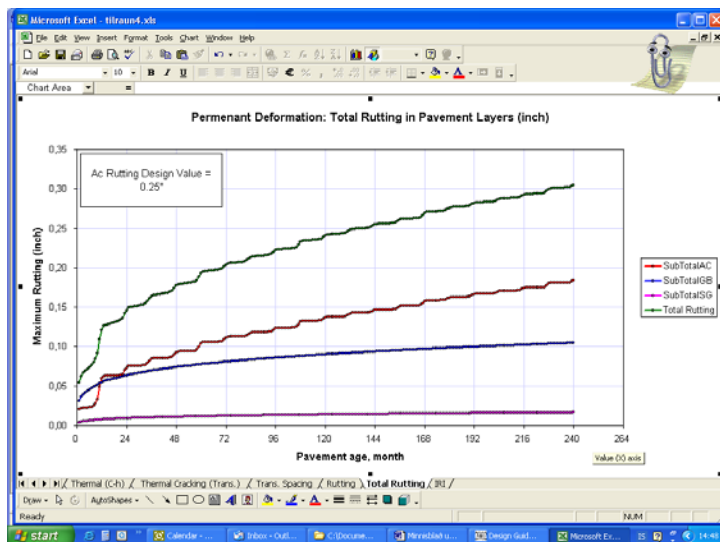
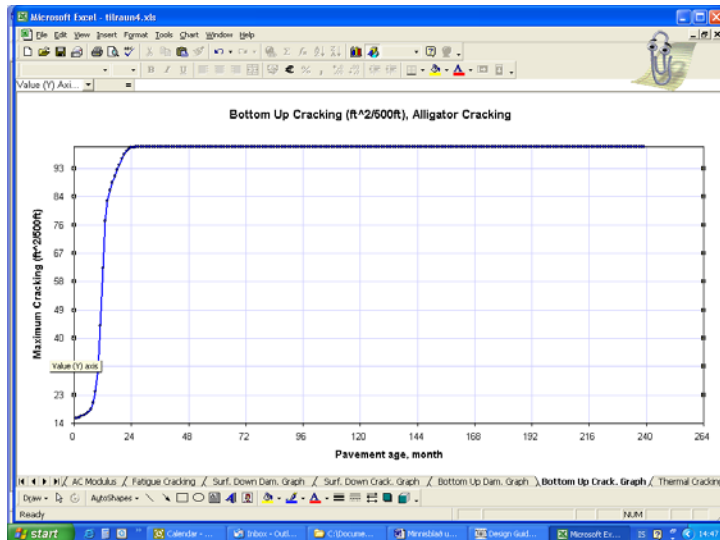


“Run Analysis”, kláraði “traffic” og “climat”, en ICM stability check gekk ekki.. í “thermal cracking”, þegar keyrt var skv. SI-kerfinu.

“Run Analysis”, með enska kerfinu fór af stað og “traffic”kláraðist. Hins vegar fraus forritið þegar það var komið með 99% í “climat”. Það átti við ef Boston var valið fyrir loftslag. Þá var prófað að velja Seattle og forritið lauk þá reikningum á u.þ.b. 30 mínútum.



Niðurstöðurnar er hægt að skoða í Excel-skjali, bæði í töfluformi og á línuritum. Dæmi eru hér á eftir:



Af þessu má sjá að slitlagið er 100% sprungið eftir tveggja ára áraun, en heildar hjólfaramyndun er 0,3 tommur (um 7,6 mm) eftir 20 ár og IRI 121,8 in/mile.

Þessar niðurstöður fengust ef slitlagið var haft 2 tommur að þykkt, sem er full mikið ef um klæðingu er að ræða. Auk þess eru þeir eiginleikar, sem settir eru inn fyrir slitlagið, hvað varðar kornastærðardreifingu, bikinnihald og fleira ekki “eðlilegt” ef um klæðingu er að ræða. Gerð var tilraun til að breyta slitlaginu í átt til þess sem ætti að vera passandi fyrir klæðingu. Kornakúrfunni var breytt, og bindiefnishlutfallið og holrýmdin lækkuð, sjá neðanskráðar myndir:

The screenshot shows the 'Asphalt Material Properties' dialog box. The 'Level' is set to 3, and the 'Asphalt material type' is 'Asphalt concrete'. The 'Layer thickness (in)' is 1.5. The 'Asphalt Mix' tab is selected. Under 'Aggregate Gradation', the following values are entered:

Property	Value
Cumulative % Retained 3/4 inch sieve:	0
Cumulative % Retained 3/8 inch sieve:	30
Cumulative % Retained #4 sieve:	70
% Passing #200 sieve:	0

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are visible at the bottom.

The screenshot shows the 'Asphalt Material Properties' dialog box with the 'Asphalt General' tab selected. The 'Reference temperature (F°)' is 70. The 'Poisson's Ratio' section includes a checkbox for 'Use predictive model to calculate Poisson's ratio' (unchecked) and a 'Poisson's ratio' of 0.35. The 'Volumetric Properties' section includes:

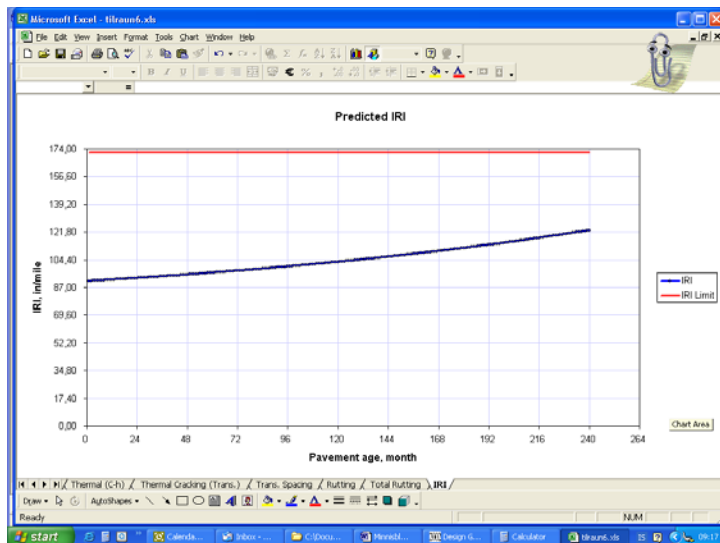
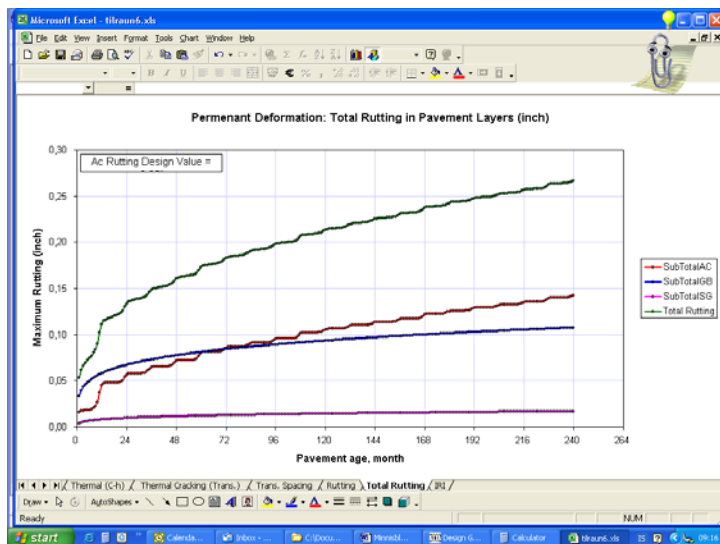
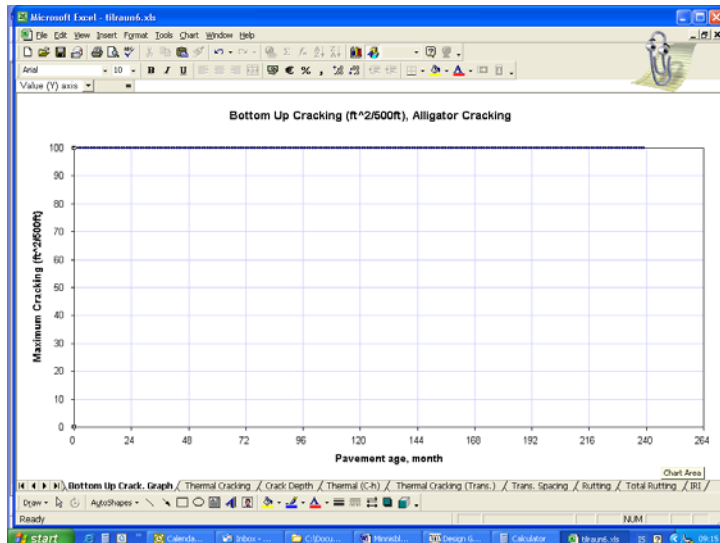
Property	Value
Effective binder content (%):	3
Air voids (%):	1
Total unit weight (pcf):	148

The 'Thermal Properties' section includes:

Property	Value
Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F°):	0.67
Heat capacity asphalt (BTU/lb-F°):	0.23

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are visible at the bottom.

Þegar gerð var tilraun til að keyra þetta og helstu niðurstöður koma fram hér á eftir.



Slitlagið springur 100% strax í upphafi (er þar með ónýtt, samkvæmt þessu). Heildar hjólfaramyndun er hins vegar minni en þegar reiknað var með tveggja tommu slitlagi hér á undan. IRI verður strax talsvert (byrjar sem 67 in/mile), en eykst ekki mikið eftir það og endar í sömu tölu og áður (spurning hvers vegna það er?).

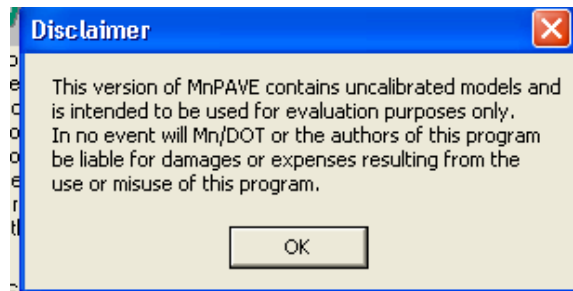
Almennt

Almennt við þessa yfirferð, rekst maður á að forritið sem hér er skoðað er ekki í endanlegri mynd. Hætta er á að villur komi upp og við vissar aðstæður frýs forritið, án þess að ljóst sé af hverju. Gangurinn í því hvernig það er notað er nokkuð ljós og upplýsingar um inngangsstærðir eru nokkuð klárar. Ljóst er að ef nota ætti forritið hér, þarf að vinna veðurfarsgögn og einnig má setja upp greiningu umferðar út frá héraendum gögnum. Hægt er að nota upplýsingar um efni að einhverju leyti og breyta samkvæmt rannsóknum sem gerðar hafa verið hér (t.d. vinna Sigurðar Erlingssonar og fleiri).

Skoðun á MnPAVE forritinu, Útgáfa 5.0

Forritið sem skoðað var, fékk HaS á diskum frá Minnesota.

Í “Disclaimer” segir að þetta forrit innihaldi ókvörðuð líkön og sé engöngu hugsað til að menn geti metið forritið sem slíkt, það er ekki tilbúið til notkunar í hönnun.

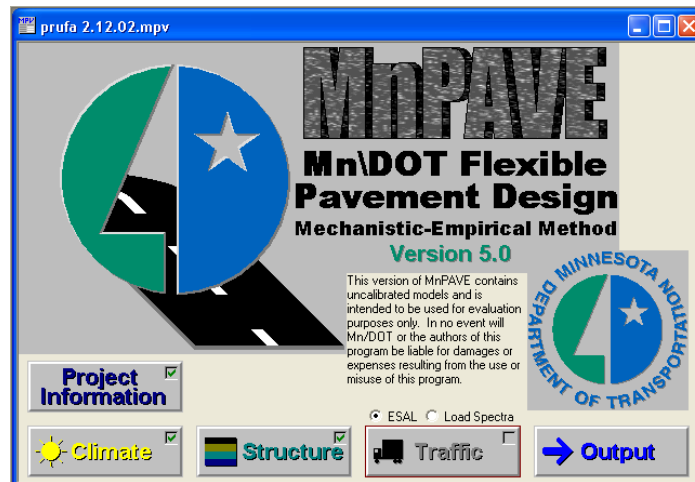


Upplýsingar um forritið:



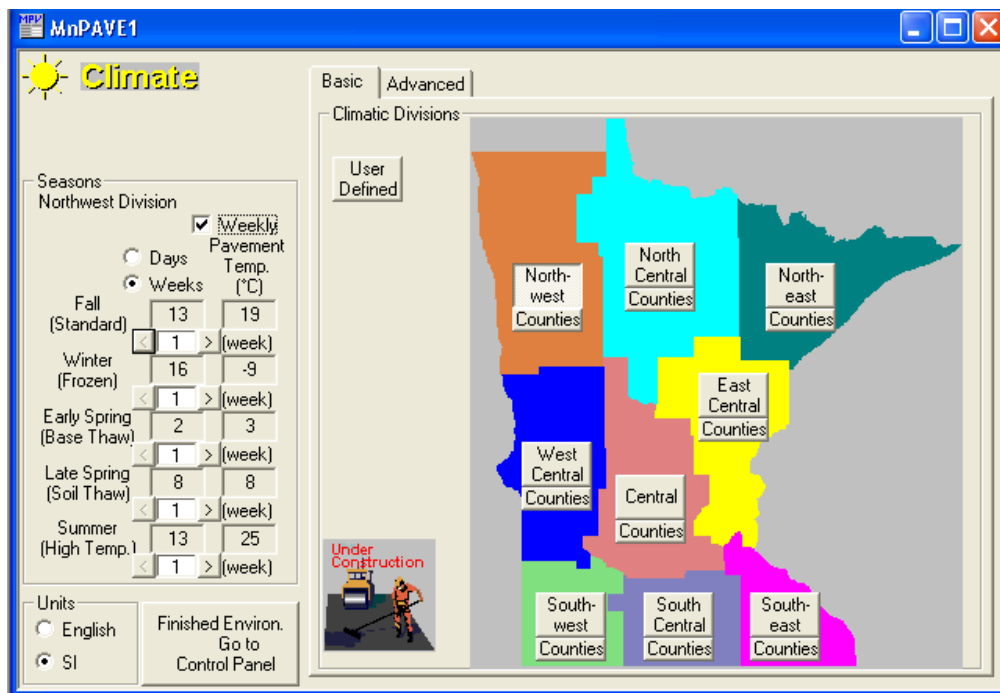
“Help” inniheldur ekkert um forritið sjálft og eiginleika þess. Aðeins almennar upplýsingar um “menu”.

Prófaði að fara í gegnum lið fyrir lið í valmyndinni sem kemur upp fyrst.



Byrja á “Project information” og sló eftirfarndi inn:

Í “Climate” er árinu skipt upp í tímabil, þar sem “pavement temperature” er gefið upp, reiknað út í dýpi sem er 1/3 af þykkt slitlagsins. Hægt er að breyta því með því að velja “advanced” flipann, sjá hér á eftir. Árinu er skipt upp í fimm árstíðir: haust, vetur, snemma vors, síðla vors og sumar. Innan hversrar árstíðar er hægt að skrá mismunandi hita fyrir mismunandi vikur, ef hakað er við “Weekly”. Í forritinu eru “stöðluð” gögn fyrir norðvestur svæði USA. Sjá hér fyrir neðan:



Vilji maður nota “User defined”, þarf að velja ákveði svæði og getur maður þá breytt hitastigi fyrir mismunandi árstíðir, en þó ekki á vikulegum grunni og reiknast þá hitastig slitlagsins í ákveðinni dýpt út frá því, samanber líkinguna á myndinni hér fyrir neðan, og kemur niðurstaðan fram í rammanum til vinstri á myndinni hér fyrir ofan, sjá einnig þarnaestu mynd.

Pavement Temperature Equation

z (mm) The default z value is 1/3 of the HMA thickness. It is updated whenever the thickness changes in Structure Mode.

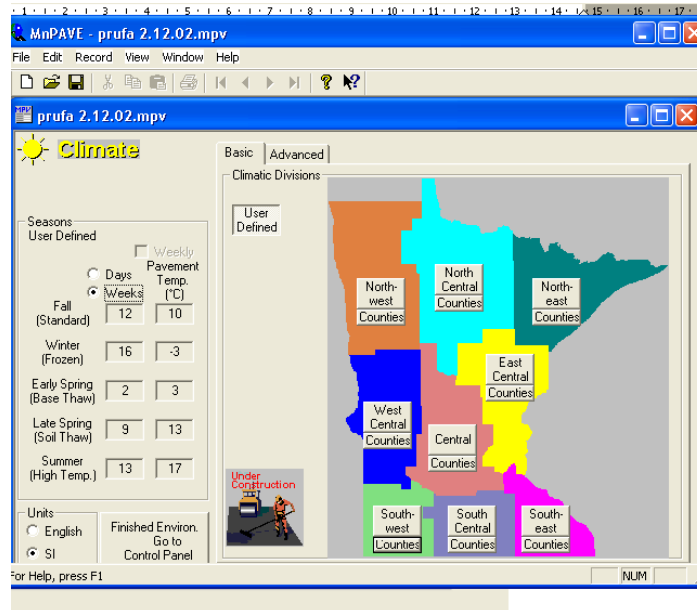
Type a value in the box to specify a constant depth.
This value cannot exceed the total HMA thickness (152 mm)

$$MMPT = MMAT \left(1 + \frac{1}{z + 4} \right) - \frac{34}{z + 4} + 6$$

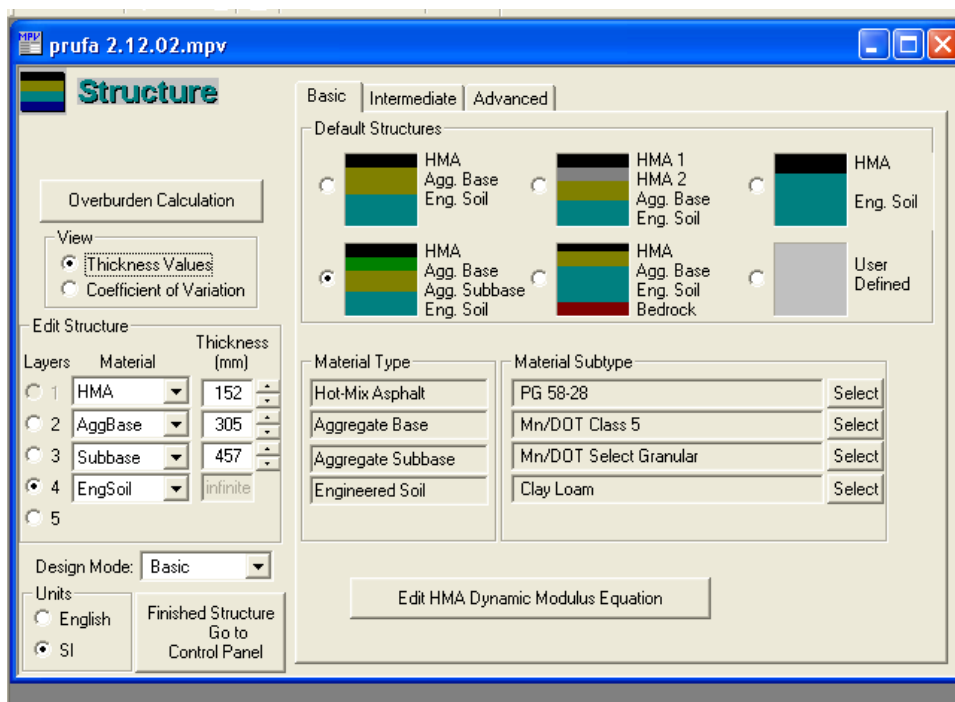
Where:

MMPT = mean monthly pavement temperature (°F)
MMAT = mean monthly air temperature (°F)
z = depth at which the temperature is predicted (in.)

Buttons: OK, Cancel, Restore Default

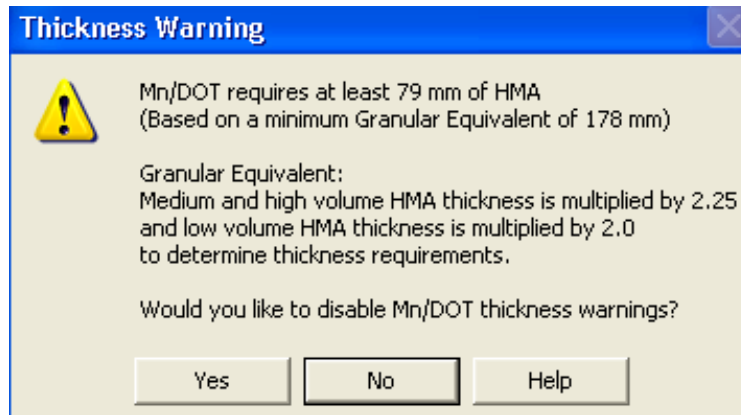


Næst var farið í “structure”, þá sprettur þessi valmynd upp (nema fyrst er óskað eftir því að valið sé “binder grade” fyrir bikið og PG 58–28 var valið hér).



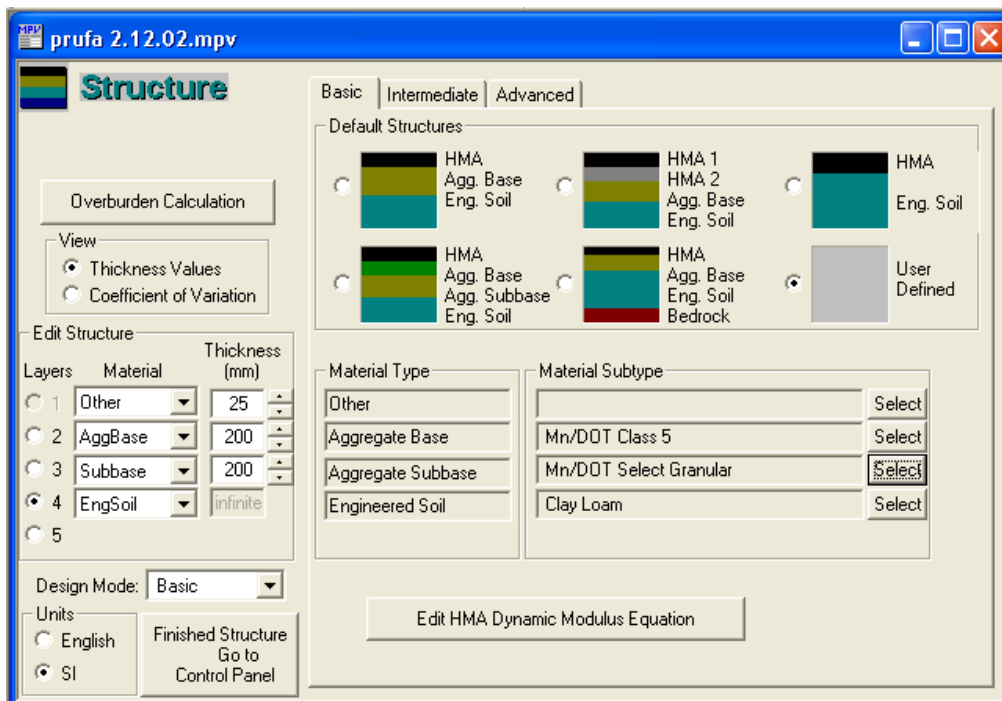
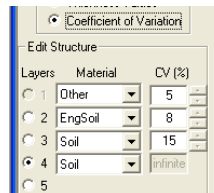
Hér er margt hægt að gera.

Tilraun var gerð með að setja upp uppbyggingu eins og fyrir litla umferð í 018, klæðing ofan á 20 cm burðarlag (Fk) ofan á 10 cm styrkkjarlag, undirlag er þá “grús, sandur T1”. Það fyrsta sem menn rekast á þegar þeir setja þetta upp svona er að forritið gerir ráð fyrir lágmarksþykkt á efsta laginu. Þiðja þarf sérstaklega um að fá að gera það þynnra og algjört lágmark er 25 mm. Sjá eftirfarandi:

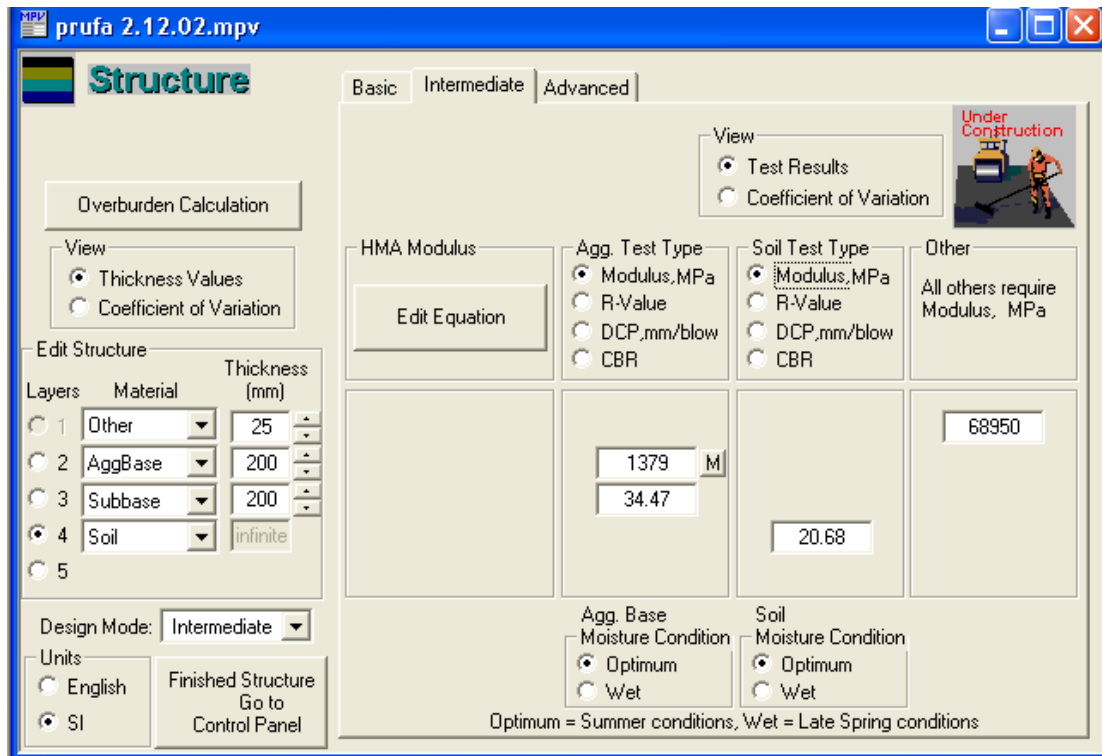


Þegar valið hefur verið að líta fram hjá þessu, er hægt að þynna slitlagið.

Einnig má benda á að auk uppgefinna þykktar, er líka gert ráð fyrir að taka inn upplýsingar um breytileika í þeim, með því að slá inn “coefficient of variation”. Forritið velur það til að byrja með svona:

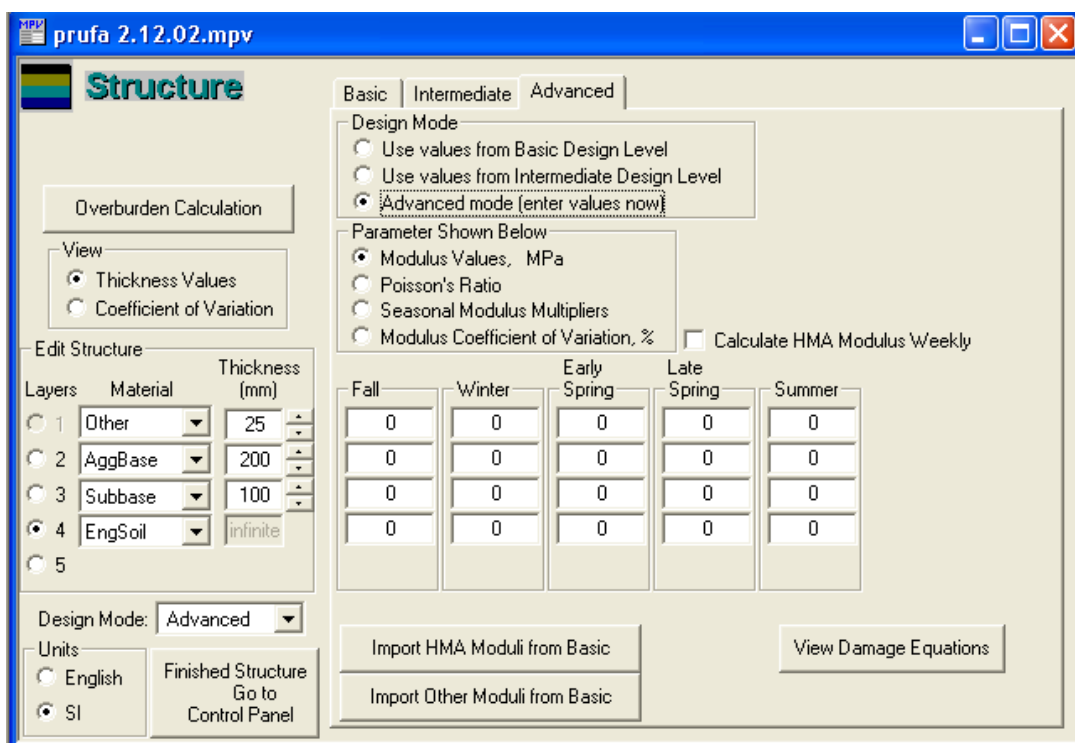


Þarna sjáum við að notuð er Mn/DOT skilgreiningar fyrir efnið í burðar- og slitlag. (Í næsta skrefi “klikkaði” forritið hjá mér og fraus). Undirlaginu má þó breyta og var það valið samkvæmt Unified Soil kerfinu vel graderuð mól. Burðar- og styrktarlagi er hins vegar ekki hægt að breyta þegar “Design Mode” er “Basic”. Því var næst prófað að fara í “Intermediate” sjá mynd:

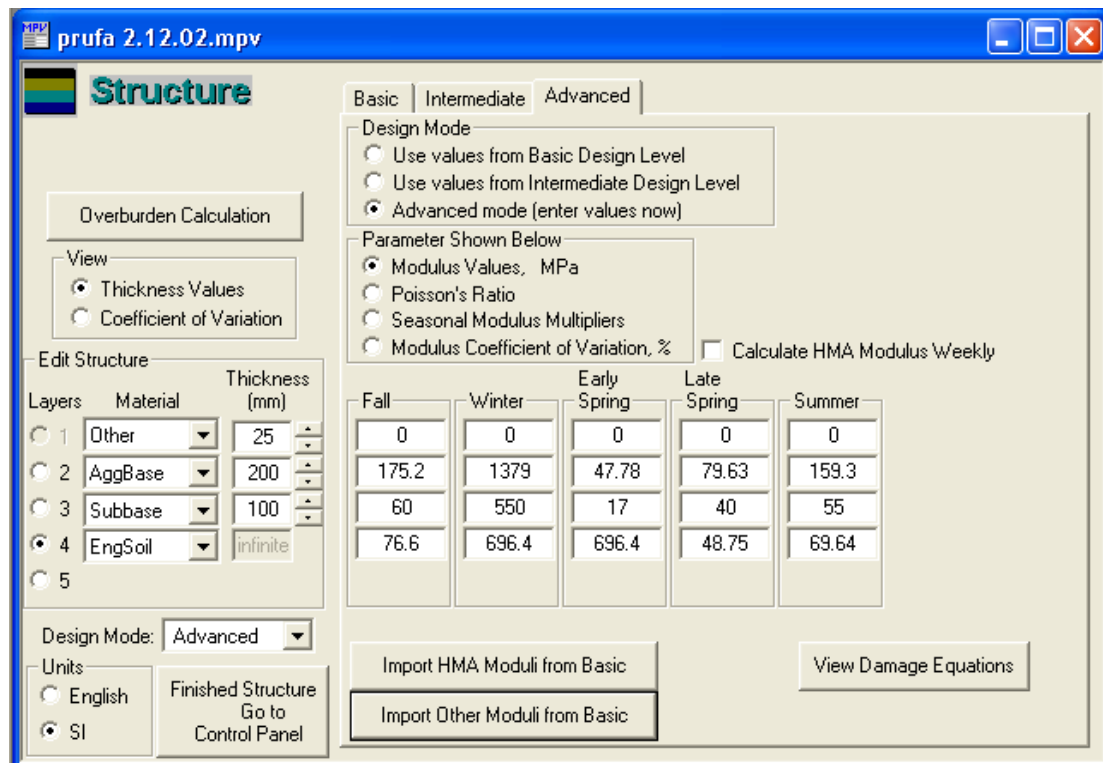


Þarna lendi ég hins vegar aftur í vandræðum með forritið, ef reynt er að breyta gögnum, t.d. merkja við CBR gildi og ætla að breyta þeim, þá frýs forritið í því að segja að “Valu must be no greater than 68948” og er ekkert hægt að gera í því.

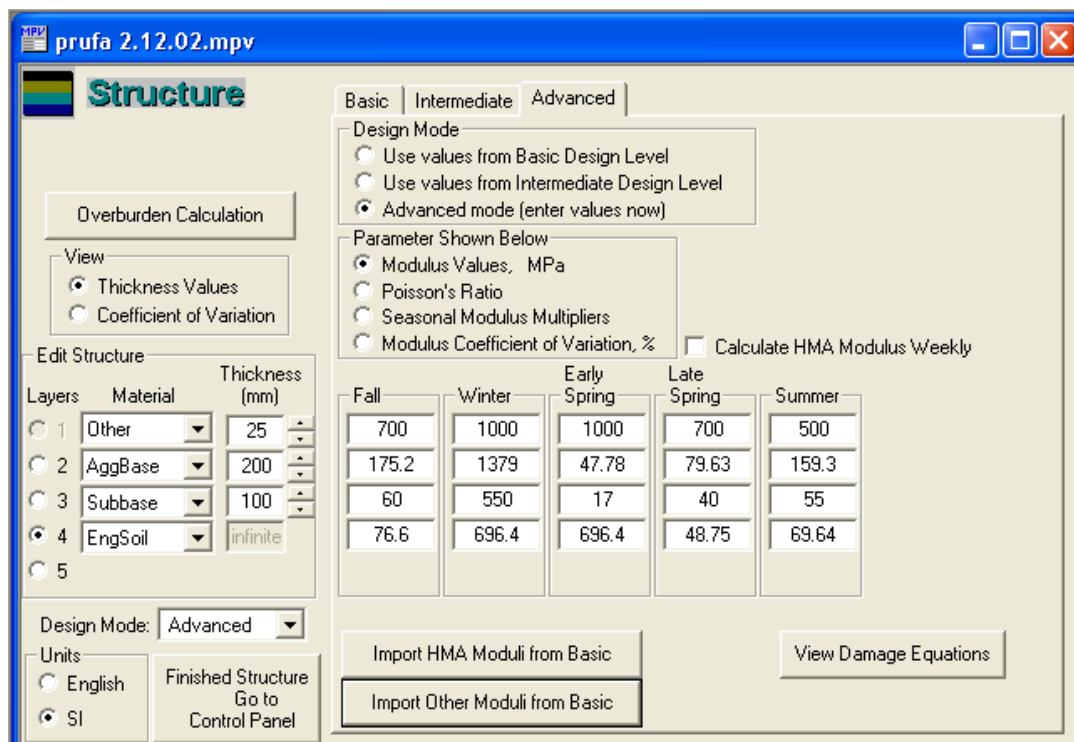
Því var forritið ræst aftur næst farið í “Design mode = Advanced”. Þá sprettur neðanskráð mynd fram:



Þarna er sem sagt hægt að slá inn E-gildi fyrir mismuandi lög á mismunandi tímum ársins. Með því að velja “Import Other Moduli from Basic” er sjálfkrafa fyllt út með gildum fyrir áður nefndu skilgreiningarnar. Því má svo breyta að vild. Sjá:



Þarna eru ekki gildi fyrir klæðinguna, en þau eru nú ekki há yfirleitt. Sló inn dæmi sbr. eftirfarandi:



Ef valið er “View Damage Equation”, kemur eftirfarandi mynd fram:

Damage Transfer Functions

Allowed Repetitions for Fatigue

$$N_F = CK_{F1} \epsilon_h^{K_{F2}} E^{K_{F3}}$$

Where

C = Correction factor

ϵ_h = Horizontal tensile strain at bottom of HMA (in/in)

E = Dynamic modulus of HMA (psi)

To add a new model, type a name in the box and click "Add".

Model: MnPAVE

Constant Calculated

KF1	0.07949
KF2	-3.291
KF3	-0.854

Allowed Repetitions for Rutting

$$N_R = K_{R1} \epsilon_v^{K_{R2}}$$

Where

ϵ_v = Vertical compressive strain at top of subgrade (in/in)

To add a new model, type a name in the box and click "Add".

Model: MnPAVE

KR1	0.00618
KR2	-2.5592

Ekki er hægt að velja “Add” til að breyta þessum líkingum, þannig að við sitjum fastir með þær.

EF reynt er að fara út úr myndinni hér að ofan með “Finished Structure Go To Control Panel”, kemur melding um að “At least 1 HMA layer is required to determine fatigue damage”. Því var “Other” breytt í “HMA”.

Næst er komið að umferðinni. Þar er hægt að vera með annars vegar jafngildisöxulálag:

prufa 2.12.02.mpv

ESAL

Axle Type

ESAL Custom Axle

Axle Configuration

Tire Pressure kPa

Axle Weight N

Wheel Weight N

Traffic

Lifetime (Calculated)

First Year

Design Life (years)

Annual Growth Rate (%)

Units

English SI

Mohr-Coulomb Failure Criterion

	Axle Weight (N)	Tire Pressure (kPa)	Wheel Spacing (mm)
Heaviest Single Tire Axle	97861	689	
Heaviest Dual Tire Axle	124550.2	689.4757	342.9

eða sundurliðaða umferð eftir öxulgerðum og álagi:

The screenshot shows the 'prufa 2.12.02.mpv' software interface. It has three tabs: 'Basic', 'Intermediate', and 'Advanced'. The 'Basic' tab is active. On the left, there is a 'Traffic Input' section with fields for 'First Year AADT' (0), 'Direction Factor' (0), 'Lane Factor' (0), 'Design Life (years)' (20), and 'Annual Growth Rate (%)' (2). Below this are 'Units' (English and SI) and a 'Finished Traffic Go to Control Panel' button. The main area is divided into 'Axles' and 'Number of Loads Expected During Design Life'. The 'Axles' section has radio buttons for 'Dual', 'Dual Tandem', 'Dual Tridem', 'Steer', 'Single', 'Single Tandem', and 'Single Tridem'. The 'Number of Loads' section shows 'Single Tandem' selected, with 'Tire Pressure' at 689 kPa and 'Axle Spacing' at 1372 mm. A table lists load classes (kN) and their corresponding axle configurations. At the bottom, it shows 'Total Number of Selected Axles' as 13302734 and buttons for 'Load Sample Data' and 'Clear All'.

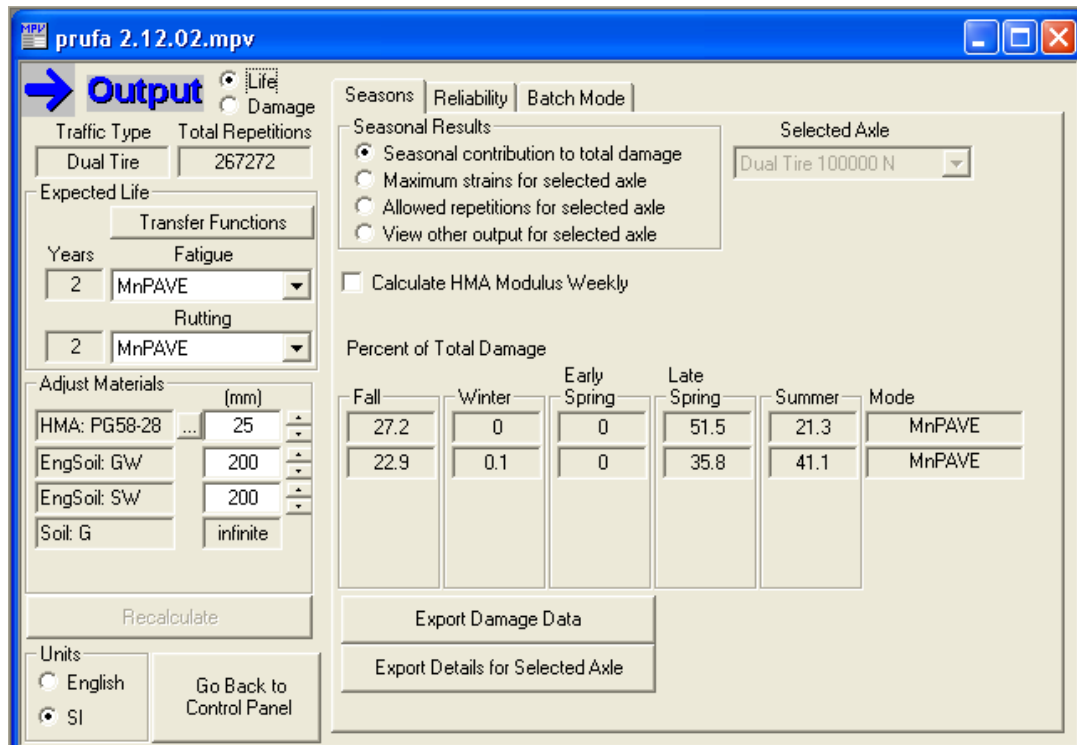
Vel eftirfarandi, (miðað við ADT þungir = 30) og 10 tonna jafngildisöxul.:

The screenshot shows the 'prufa 2.12.02.mpv' software interface with the 'ESAL' tab selected. The 'Axle Type' section has 'Custom Axle' selected with a 'Dual' dropdown. The 'Axle Configuration' section has 'Tire Pressure' at 552 kPa, 'Wheel Spacing' at 343 mm, 'Axle Weight' at 100000 N, and 'Wheel Weight' at 2500 N. The 'Traffic' section has 'Lifetime' at 267272 (Calculated) and 'First Year' at 11000. 'Design Life (years)' is 20 and 'Annual Growth Rate (%)' is 2. The 'Mohr-Coulomb Failure Criterion' table shows the following data:

	Axle Weight (N)	Tire Pressure (kPa)	Wheel Spacing (mm)
Heaviest Single Tire Axle	97861	689	
Heaviest Dual Tire Axle	124550.2	689.4757	342.9

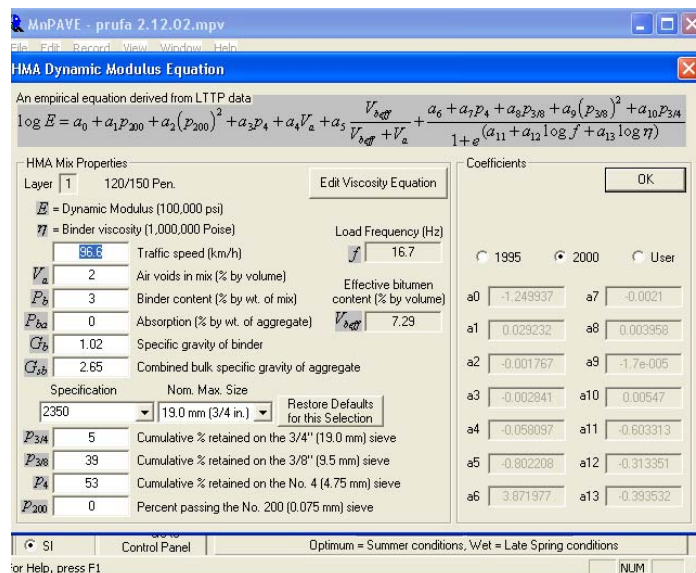
At the bottom, there are 'Units' (English and SI) and a 'Finished Traffic Go to Control Panel' button, along with a 'Restore Mn/ROAD Defaults' button.

Niðurstöðurnar eru e.t.v. ekki mjög uppörvandi:

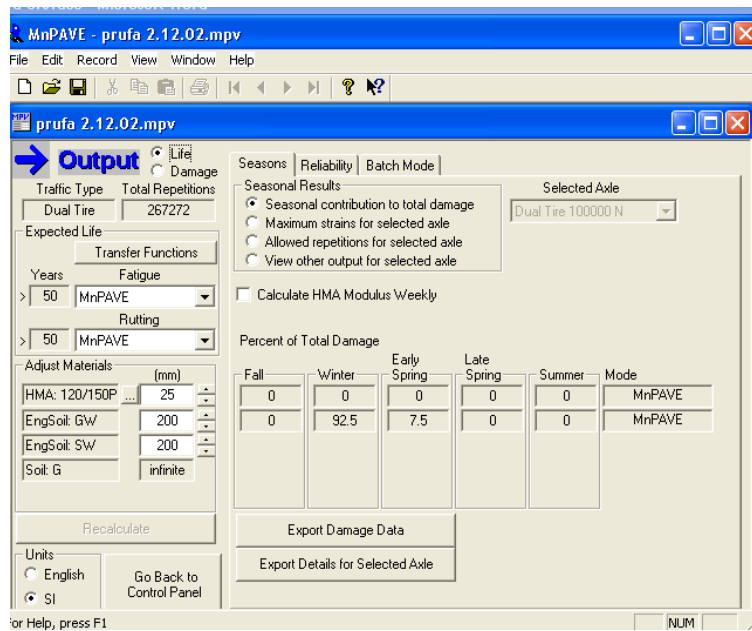


Ekki nema tveggja ára endingatími, reyndar eftir að búið er að breyta upplýsingum um efn. Þetta þarf væntanlega að skoða betur. Breytingar á þykktum neðri laga hafa ekki áhrif á endinguna.

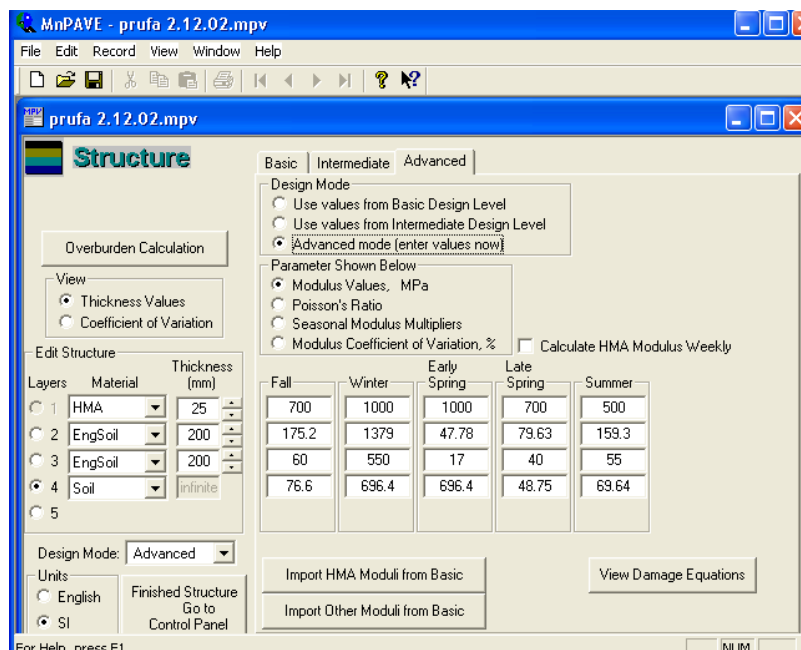
Gerð var tilraun til að breyta slitlaginu, þannig að farið var inn í “intermediate” í “Structure” og “select” fyrir HMA valið og eiginleikum slitlagsins breytt, hvað varðar holrým, bikinnihald og fleira þar, sjá:



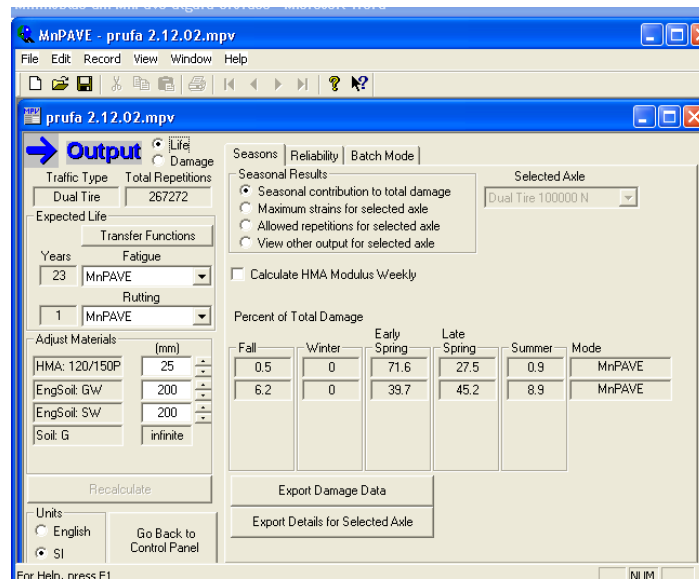
. Þá bregður svo við að niðurstöðurnar verða allt aðrar:



Nú endist uppbyggingin í meira en 50 ár! Þetta er þegar miðað er við “intermediate” mode. Ef hins vegar er miðað við “advanced” og neðanskráð E-gildi:



..verður útkoman önnur:



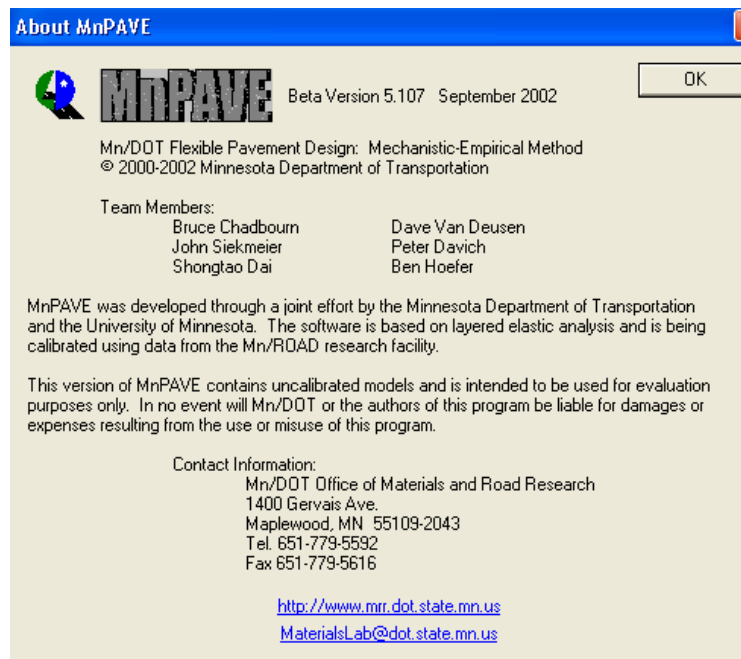
... hjólför yfirskrifa mörk strax á fyrsta ári, en þreytubrot ekki fyrr en eftir 23 ár.

Þessi yfirferð þessa líkans, bendir til þess að það geti komið til greina að nota það, með því að nýta möguleika og sveigjanleika forritsins í að breyta inngangsstærðum og nálga betur aðstæður sem hér ríkja. Þó ber að hafa í huga að forritið er ekki tilbúið til notkunar við hönnun, en þessi útgáfa aðeins ætluð til að skoða það. Notkun þess er háð því að þróun þess verði haldið áfram. Þó verður að hafa þann fyrirvara að forritið notar aðeins ástand yfirborðs undirbyggingar við reikning hjólfaradýptar, en það er ekki víst að það sé oft ráðandi þáttur hérlandis.

Skoðun á MnPAve forritinu, Útgáfa 5.1

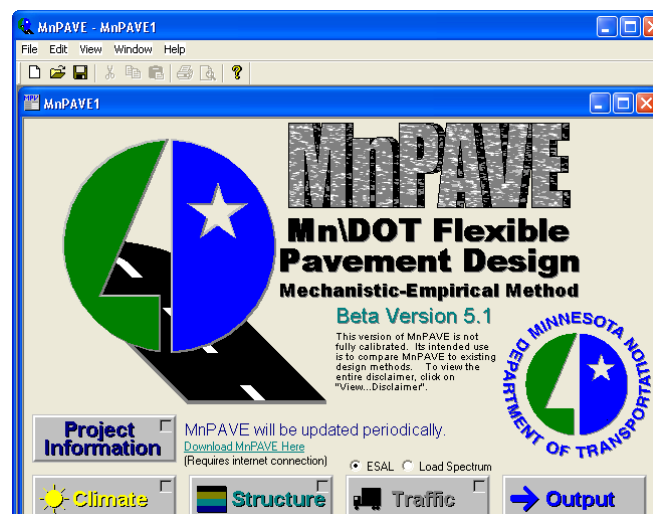
Þessi útgáfa forritsins var fengin af netinu í ágúst 2003, sjá [http://www.mrr.dot.state.mn.us/research/mnpave/mnpave.asp]. Þessi útgáfa er sögð uppfærð 24. september 2002. Farið var í gegnum hana á sambærilegan hátt og útgáfu 5.0 (sjá sérstakt minnisblað um það (viðauki II hér að framan).

Upplýsingar um forritið:



“Help” hltui forritsins inniheldur nokkrar skýringar á einstaka liðum valmynda sem upp koma. Ekki er, fremur en í útgáfu 5.0, fjallað þar um hvernig forritið vinnur (flæðirit þess eða annað).

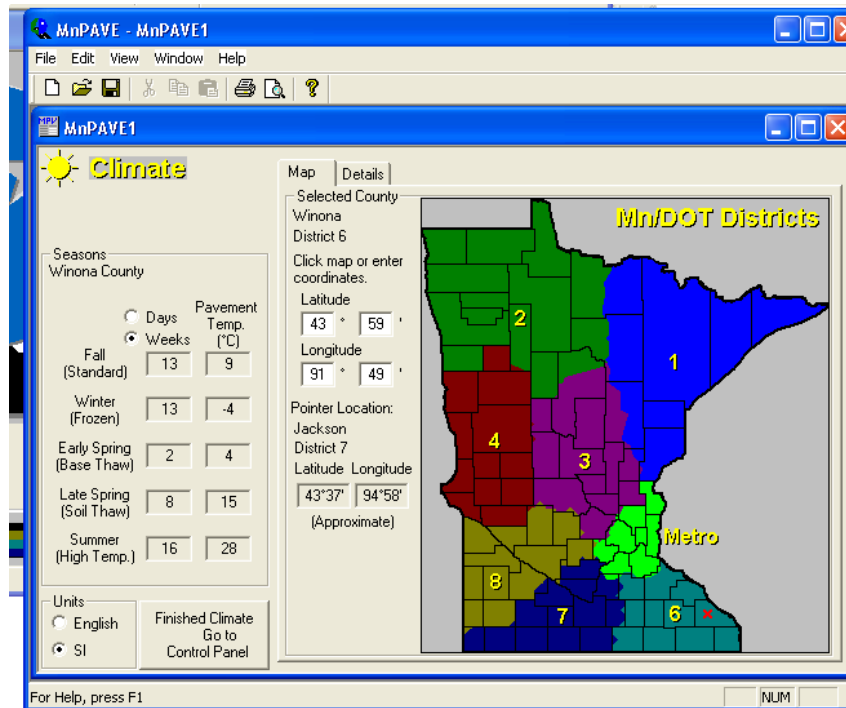
Prófaði að fara í gegnum lið fyrir lið í valmyndinni sem kemur upp fyrst.



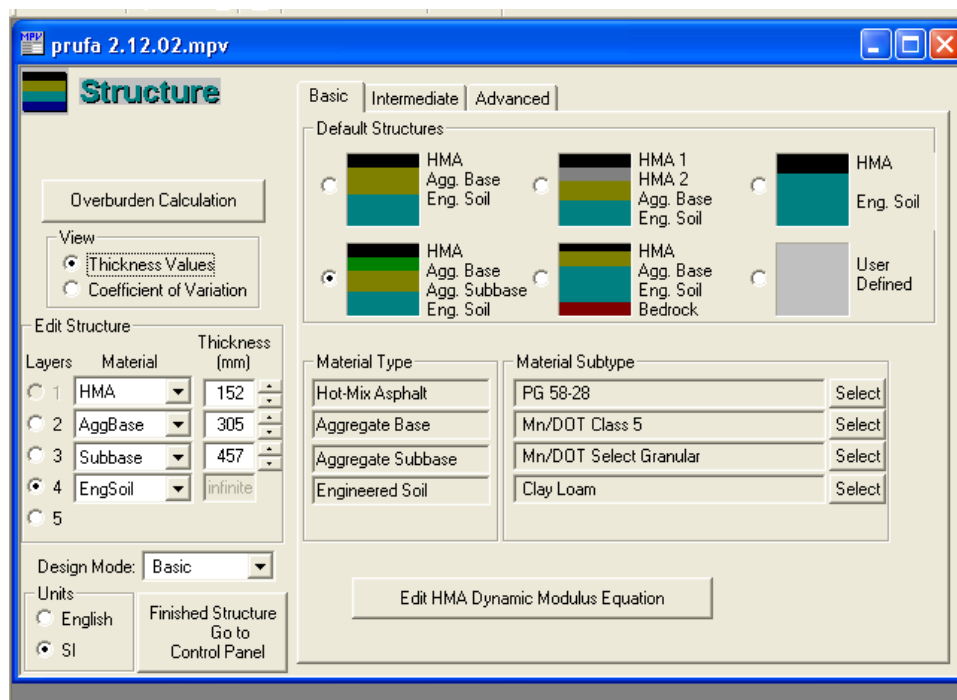
Byrja á “Project information” og sló eftirfarndi inn. District og County er bundið við Minnesota og ekki hægt að breyta því eins og í útgáfu 5.1.

Í “Climate” er árinu skipt upp í tímabil, þar sem “pavement temperature” er gefið upp, reiknað út í dýpi sem er 1/3 af þykkt slitlagsins, sbr neðanskráða líkingu sem kemur fram í undir “Detail” flípanum, “view pavement temperature equation”.

Í þessari útgáfu er ekki hægt að eiga neitt við “Climate” gögnin og eru í forritinu stöðluð gögn fyrir Minnesotafylki, sjá hér fyrir neðan. Hægt er að færa bendilinn yfir kortið og fá þannig staðlaðar upplýsingar fyrir hvern stað fyrir sig. Ekkert er heldur hægt að eiga við “Detail” hlutann í þessari útgáfu forrītsins. Þetta er mikil breyting og þrenging á möguleikum miðað við útgáfu 5.0.



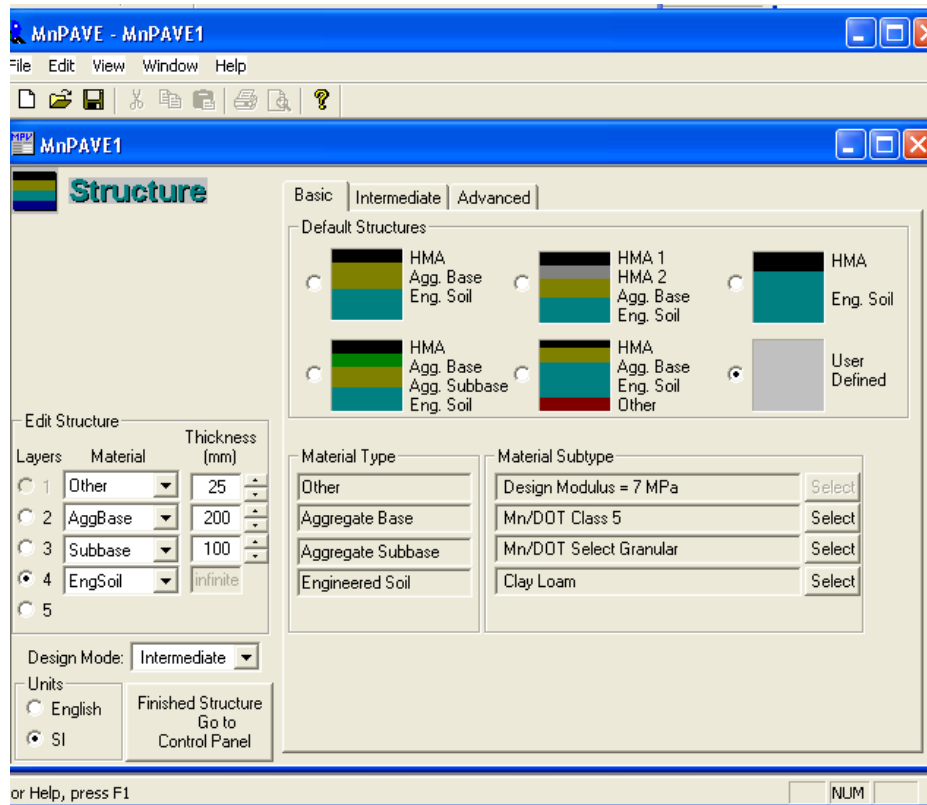
Næst var farið í “structure”, þá sprettur neðangreind valmynd upp nema fyrst er óskað eftir því að valið sé “binder grade” fyrir bikið og PG 58–28 var valið hér. Þá kom upp viðvörðun um að í Minnesota væri ekki ráðlegt að velja þetta “binder grade”, en boðið er upp á að taka þær “restrictionir” af og var það gert.



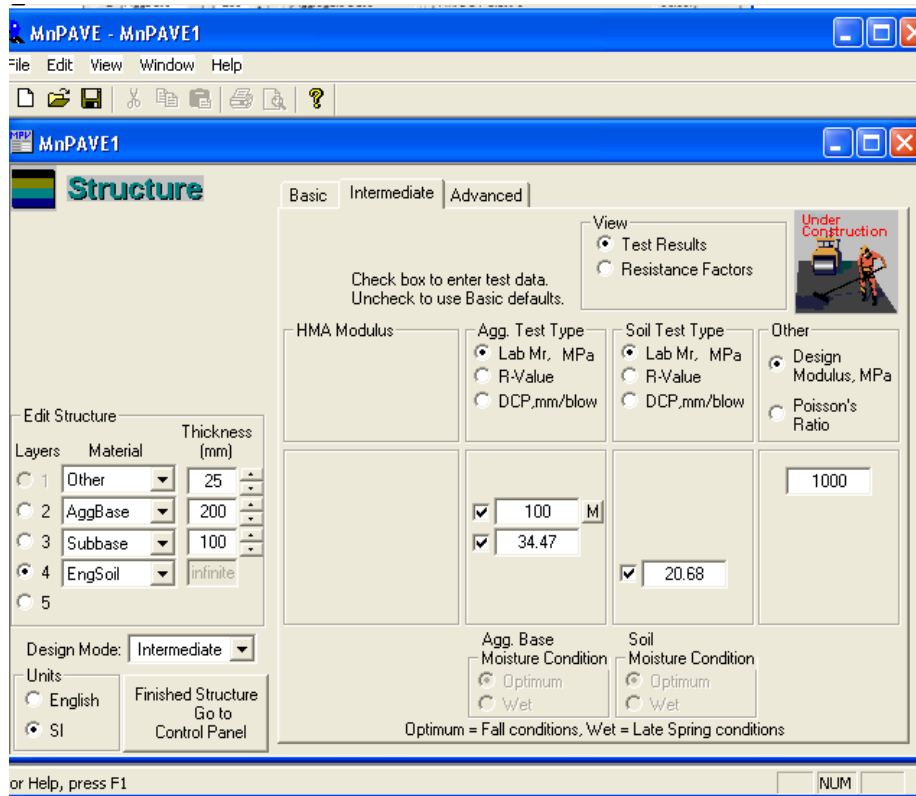
Hér er margt hægt að gera, eins og í útgáfu 5.0.

Tilraun var gerð með að setja upp sambærilega uppbyggingu og prófuð var í útgáfu 5.0. Uppbyggingin er eins og fyrir litla umferð í 018, klæðing ofan á 20 cm burðarlag (Fk) ofan á 10 cm styrktarlag, undirlag er þá “grús, sandur T1”. Það fyrsta sem menn rekast á þegar þeir setja þetta upp svona er að forritið gerir ráð fyrir lágmarksþykkt á efsta laginu. Biðja þarf sérstaklega um að fá að gera það þynnra og algjört lágmark er

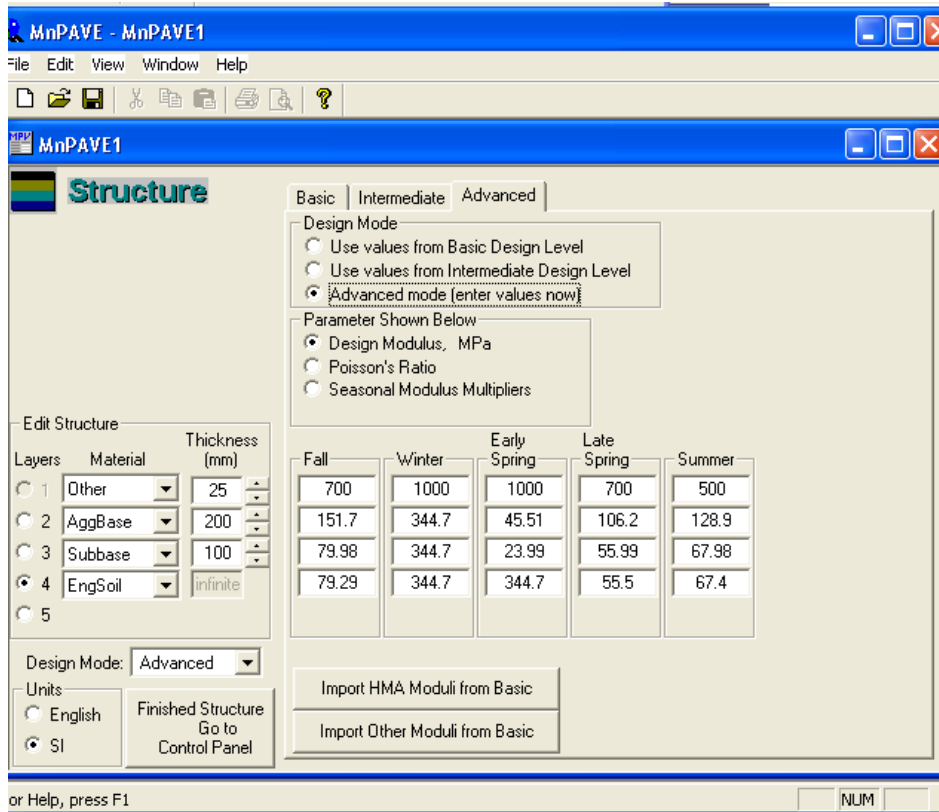
25 mm. Í þessari útgáfu er ekki hægt að taka inn “coefficient of variation” fyrir þykktir, eins og í útgáfu 5.0.:



Þarna sjáum við að notuð er Mn/DOT skilgreiningar fyrir efnin í burðar- og slitlag. Í “Intermedeate” er hægt að breyta módúlum og var eftirfarandi valið. Hér hefur valmöguleikum frá útgáfu 5.0 fækkað verulega. Ekki er hægt að eiga við líkingu fyrir E-gildi slitlagsins og ekki er lengur gert ráð fyrir að hanna út frá CBR-gildum fyrir burðarlögin, enda komu fram villur í því þegar fyrri útgáfan var prófuð hér.

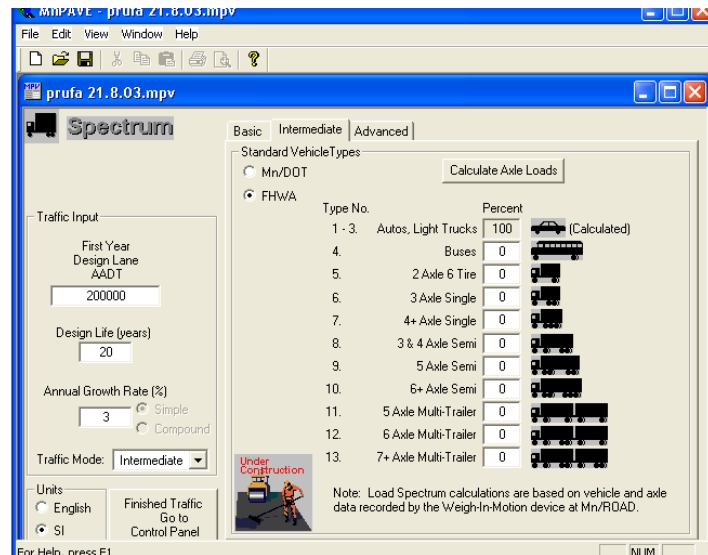


Síðan var farið inn í “Advanced” og fyllt inn breytilegur móduell fyrir klæðinguna, en hitt flutt inn úr “Basic” (sbr flipann neðst á myndinni):

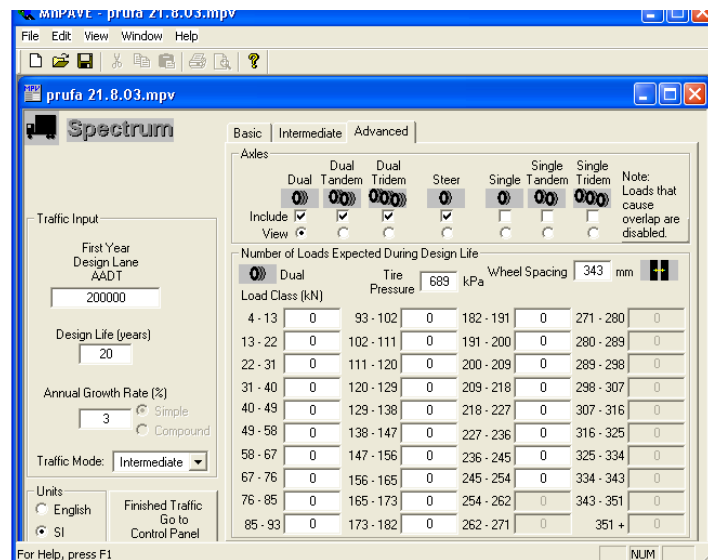


Þegar farið var út úr þessu, komu meldingar um að a.m.k. eitt HMA þurfi til að geta metið þreytubrot (“At least 1 HMA layer is required to determine fatigue damage”). “Other” var því breytt í “HMA”.

Næst er komið að umferðinni. Hægt er að velja jafngildisöxul (ESAL), eða “Load spectrum”. Ef hið síðarnefnda er valið, kemur fram að þessi útgáfa inniheldur ekki “basic” inngangsstærðir, en hins vegar er hægt að slá inn upplýsingar um dreifingu umferðar, þ.e. á gerð ökutækja, sjá neðanskráða mynd:

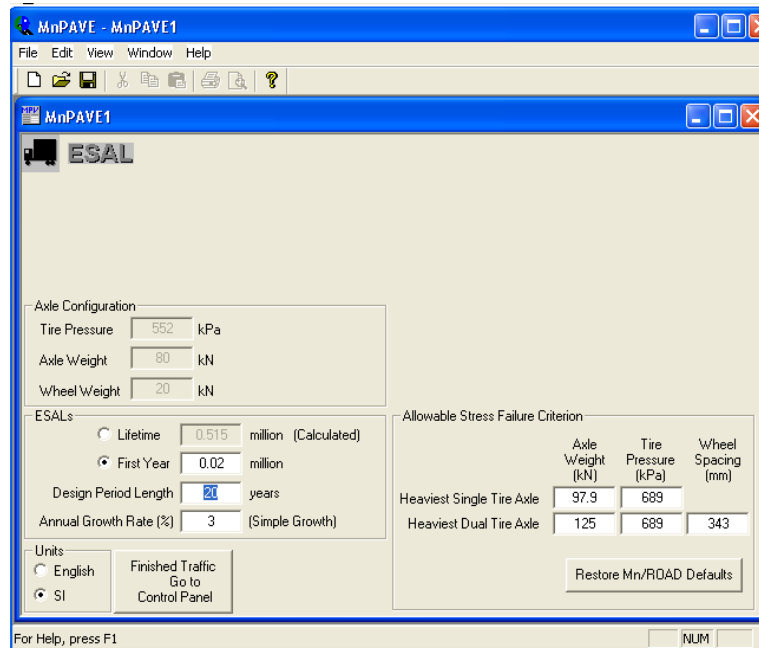


Þarna er í “intermediate” hægt að slá inn hlutfall mismunandi ökutækjagerða. Ef farið er í “advanced” eða ef “Calculate Axle Load”, kemur neðanskráð mynd upp:

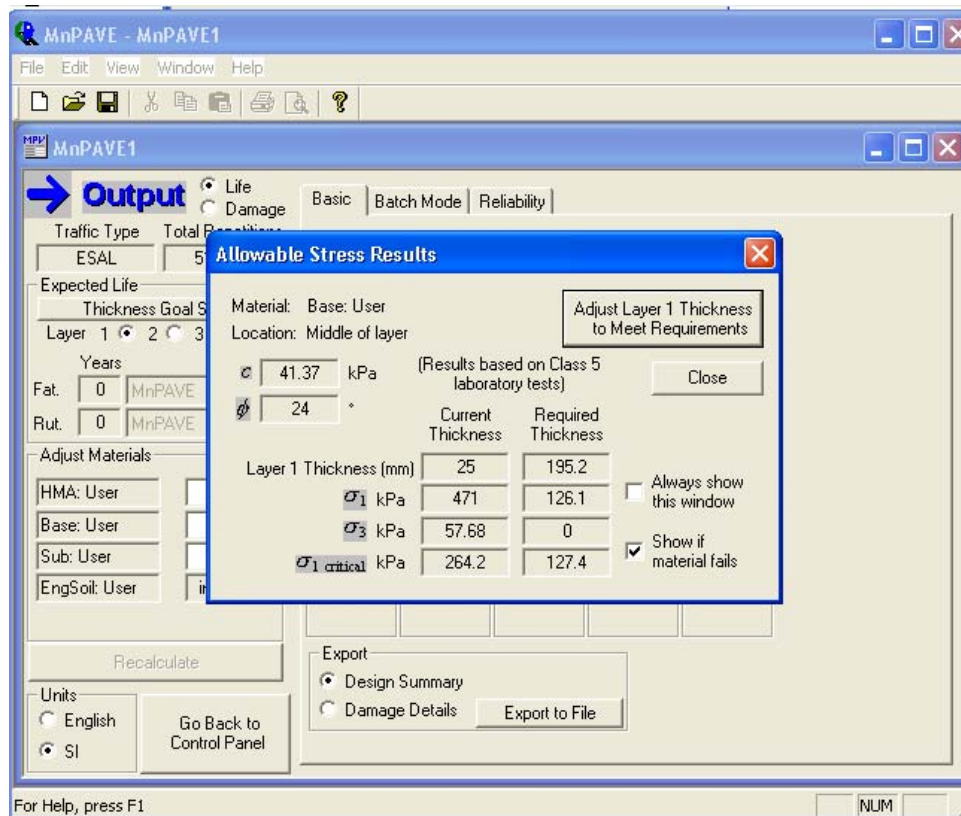


Þarna er hægt að skrá inn fjölda bíla með viðkomandi öxulgerð ef það er þekkt.

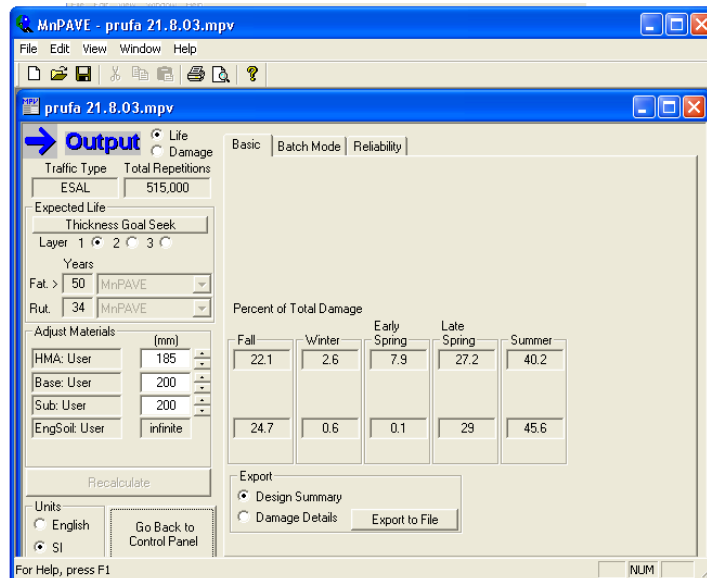
Í þessari keyrslu var hins vegar valið að notast við ESAL, sjá neðanskráða mynd:



Slegið var inn miðað við að ADT-þungir væri 50 (c.a. 0,02 milljón á ári). Þá er farið beint í “output” og eftirfarandi mynd kemur fram.

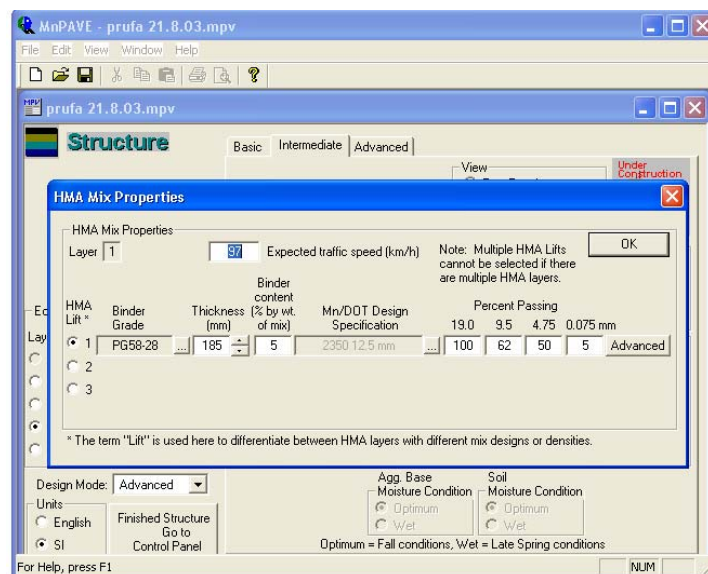


Ef valið er “Adjust Layer 1 Thickness...” kemur eftirfarandi út:

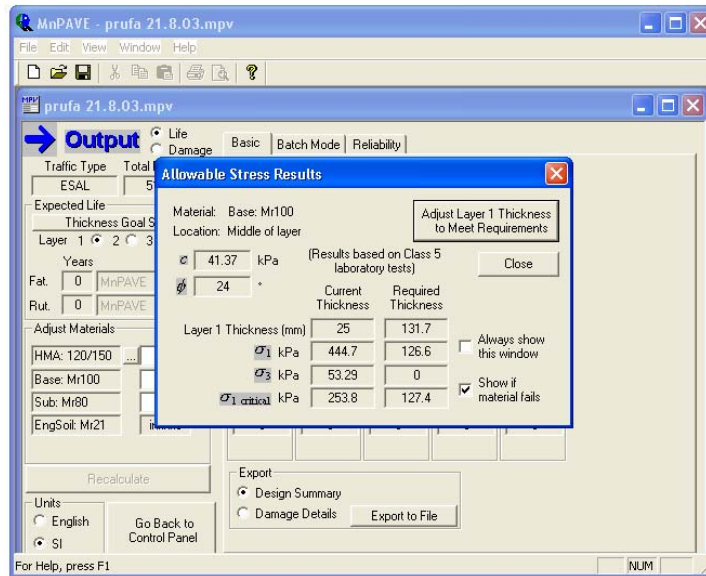


Þetta er allt of mikill endingatími, enda klæðingin orðin all svakalega þykk þarna, eða um 19 cm!!.

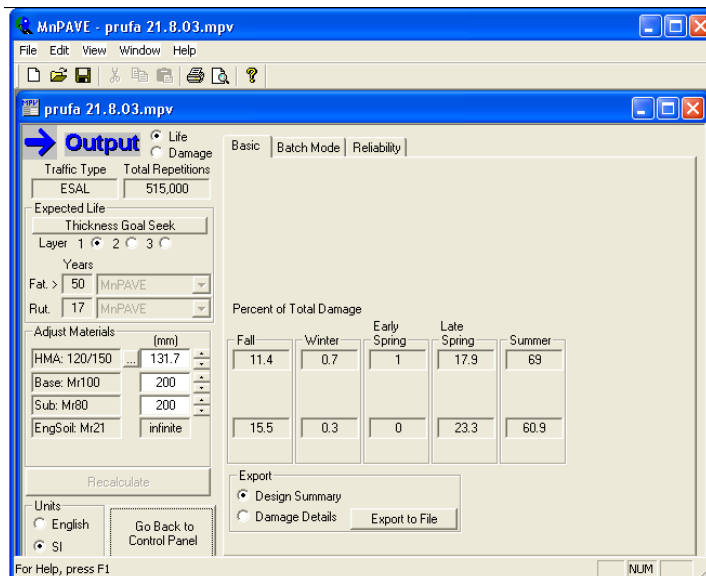
Farið var til baka og inn í “Structure” og “Select” flipinn við HMA valinn og kemur þá eftirfarandi skjar fram:



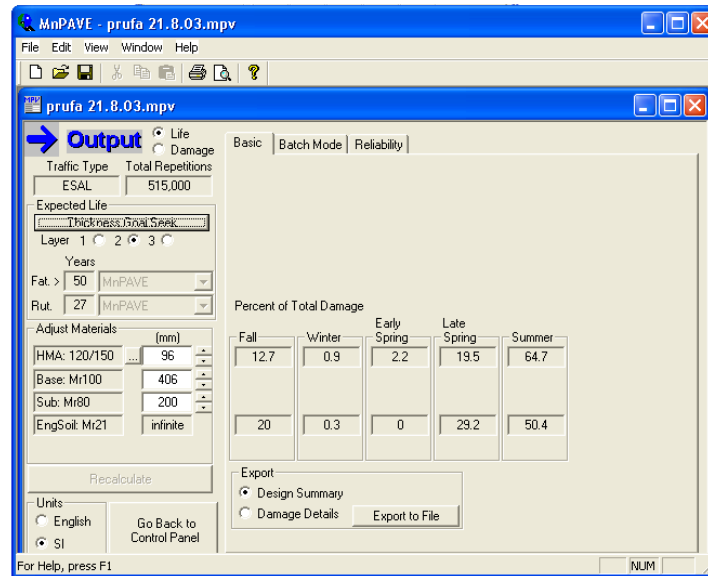
Kornakúrfunni var breytt og bikinnihald lækkað, auk þess sem farið var inn í “Advanced”, þar sem holrýmd var lækkuð úr 8% í 2%. Niðurstaðan varð þessi:



“Adjust Layer 1 Thickness...” var valið og þá kemur eftirfarandi út:



“Klæðingin” er reiknuð í 13 cm þykkt, sem er lítið skárra en áður. Þá var prófað að þynna klæðinguna niður í 25 mm og velja “Thickness Goal Seek” fyrir lag númer 2. Niðurstaðan varð þessi:



“Klæðingin” reiknast yfir 9 cm og efra burðarlag yfir 40 cm, en þá er ending hvað varðar hjólför og þreytubrot yfir 20 ára mörkunum.

Gerðar voru ýmsar æfingar aðrar í framhaldi af þessu, án þess að skrá þær hér, en niðurstöður urðu ekki í samræmi við hönnun samkvæmt Handbok 018. Auk þess átti forritið það til að frjósa.

Í fljótu bragði er þessi útgáfa tæpast nýtileg fyrir íslenskar aðstæður, einkum þar sem sveigjanleiki í henni, t.d. hvað varðar loftslag er lítil.

Skoðun á forritinu MMOPP

Almennt

Fékk í hendur disk og gögn sem voru (eru?) til skoðunar í Danmörku. Fékk gögnin frá Gregers Hiledbrand hjá Vegagerðarrannsóknastofunni í Hróarskeldu. Diskurinn inniheldur uppsetningaforrit fyrir MMOPP auk uppkasts um reglur fyrir hönnun vega (hefti 3.3 : Dimensioering af befæstelser og forstærkningsbelægninger). Einnig eru notendaleiðbeiningar fyrir forritið.

Forritið sett upp á tölvu ÞI á Rb, án vandræða í desember 2002.

Um tillögur að vegreglum hefti 3.3 : Dimensioering af befæstelser og forstærkningsbelægninger

Fram kemur að skipta megi vegbyggingum í þrjá hjópa, stórar, meðalstórar og minni (eða minna merkilegar). Fyrsta hjópin á alltaf að hanna með analytiskum-empiriskum aðferðum auk “simulationsaðferðinni”, (sem hvortveggja er hægt að gera með MMOPP forritinu). Hóp tvö á að hanna með annarri hvorri aðferðinni að eigin vali. Fyrir síðasta hópinn er ekki hannað neitt, heldur flett upp í katalógum.

Samkvæmt þessum tillögum er umferðin reiknuð sem ein tala, út frá fjölda þungra bíla (>3,5 tonn), með ýmsum leiðréttingum, s.s. v. “super single” hjóla, gerðar bíla, lengd þeirra o.s.frv.. Tekið er fram að hugsanlega þurfi að reikna þetta mismunandi fyrir mismunandi tímabil sem verið er að skoða (þ.e. leiðréttifaktorarnir geta verið breytilegir á væntanlegum líftíma).

Efnisstuðlar geta verið katalógákvarðaðir, eða eftir prófanir. Sett er fram leiðrétting á stuðlum fyrir malbik, miðað við hraðan (60 km/klst og meira er 1,0, en svo lægri eftir því sem hraðinn er minni).

Brugervejledning til Beta Test Version 2 (MMOPP)

Fram kemur að forritið getur reiknað fyrir mjúkar, hálfstífar og steypar veguppbyggingar, en simulerings fasinn er aðeins gildur fyrir mjúkar vegbyggingar. Einnig kemur fram að forritið er aðeins fyrir nýbyggingar, eins og er, en stefnt að því að taka inn hönnun styrkingar síðar.

Hægt er að nota forritið annars vegar til að hanna á klassískan hátt analytískt skv Vejregler 7.10.03 og hins vegar með því að líkja eftir líftíma uppbyggingarinnar og hvernig ástand hennar breytist.

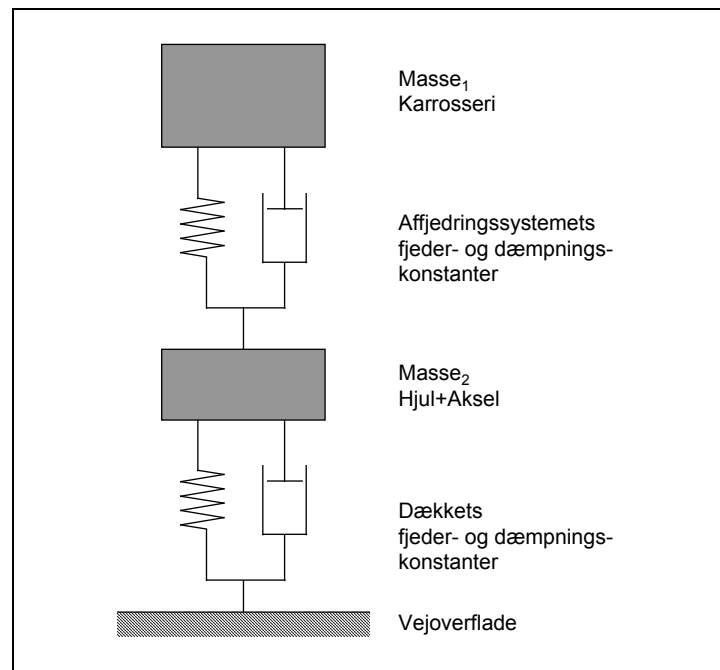
Fjallað er um hvernig “hefðbundin” analytísk hönnun er. Fyrir óbundin efni er miðað við að spenna í yfirborði lagsins sé krítíski hlutinn. Fyrir bikbundin efni er lárétt togstreita í neðri brún talin vera krítísk o.s.frv.

Fjallað er í kafla 2.3 um simulationshönnun. Fram kemur kostur MMOPP forritsins umfram önnur forrit, sem geta tekið mismunandi niðurbrot eftir árstíðum inn í myndina. MMOPP reiknar “rekursívt”, þ.e. reiknar áraunina í réttri tímaröð svo að áhrif niðurbrots tímabilið á undan, hefur áhrif á reikninga fyrir viðkomandi tímabil.

Hin hefðbundnu forrit reikna yfirleitt aðeins áhrif heildarumferðarinnar sem kemur á mismunandi árstímum og taka þannig ekki inn “keðjuáhrif” skemmdanna.

MMOPP samanstendur af 6 mismunandi módúlum (eða forritabútum) og er hverjum um sig lýst í leiðbeiningunum. Módúlarinn eru:

- “Veghlotslíkan” (Befæstelsesmodel).** Það býr til 30 m langan kafla af veginum sem hanna á og skiptir honum niður í 30 cm löng “element”. Í hverju af þessu elementu er þykkt mismunandi laga ákveðin sem og breytileiki í E-módúl. Þessi breytileiki í þykkt og E-módúl er ákvarðaður með svokölluðum “autoregressive process”, sem þýðir að gildi fyrir viðkomandi “element” er háð gildi fyrir næsta element á undan. MMOPP notar 2. gráðu “autoregressive process” og mun þannig taka tillit til tveggja næstu elementa á undan. Til að þetta sé hægt, er gefið meðallagþykkt, dreifing fyrir yfirborðskótann og 1. og 2. autokorrelationskoefficient fyrir yfirborðið. (Því hærri sem þessir stuðlar eru, því minni er breytileikinn milli elementa).
- Álagslíkan (Belastningsmodel).** Samspili milli álags hjóla og vegyfirborðs, er lýst með tveggja massa vökva-fjaðrandi (visko-elastisk) kerfi, sjá myndina hér fyrir neðan. Notandinn hefur tækifæri til að breyta mössum og stuðlum fyrir kerfið.



- Loftslagslíkan (Klimamodel).** Loftslagslíkanið breytir E-módúlum eftir árstíðum og eru notuð föst töflugildi (líklega geta menn þó sett inn eigin gildi). Inngangsgildi E-módúlsins er sumargildið (fær margfeldisstuðulinn 1).
- Svörunarlíkan (Responsmodel).** Sagt er að þetta byggi á jafngildisþykktaraðferðinni (Odermark-Boussinesq). En svo kemur fram að svörunar reikningar í hefðbundinni hönnun eru gerðir með forritinu WESDEF, sem er línulega fjaðrandi marglaga líkan líkt og BISAR og fleiri slík. (Spurning hvort Odermarks-aðferðin sé notuð við simuleringuna, til að spara tíma við reikninga, en hún er mun fljótlegri en hin.) Fram kemur að notaðir eru leiðréttistuðlar í jafngildisþykktaraðferðinni, sem gera það að verkum að

niðurstöður reikninganna eru nær því að vera eins og frá línulega fjaðrandi líkani, (þó auðvitað sé ekki fyllilega ljóst hvort það sé endilega “réttara” miðað við raunveruleikann!).

- e) **Niðurbrotslíkan fyrir malbik (sprungumyndun í malbiki). (Strukturel nedbrydning (revner))**. Líkanið reiknar tog í neðri brún bikbundna lagsins og ákveður upphaf sprungumyndunar út frá hefðbundnum mörkum sem til dæmis fást frá 3ja punkta beygjuprófi. “Fracture mechanics” er notað til að ákveða hversu hratt sprungurnar fara upp og jafnframt er E-módúllinn lækkaður með því.
- f) **Varanleg samþjöppun (sléttleiki og hjólför) (Permanent deformation (jævnhed og sporköring))**. Spennur eru reiknaðar með jafngildisþykktaraðferðinni og dynamiskum E-módúlum. Þær eru síðan notaðar til að reikna varanlega niðurbeygju út frá plastískum E-módúlum. Fram kemur að þetta líkan getur ekki reiknað hjólför sem myndast við að efnið skriður til hliðar, (þegar skúfuspennan verður of há).

Fjallað er um notkun forritsins í kafla 4 í leiðbeiningunum. Fram kemur að MMOPP (sbr. einnig hér að framan), hefur tvær leiðir. Í fyrsta lagi hönnun eftir hefðbundinni analytiskri aðferð (“klassísk”), annað hvort með einföldum fyrirfram fengnum upplýsingum um umferð og efni, eða notandinn getur breytt inngangsupplýsingum um umferð og efni. Í öðru lagi er hægt að líkja eftir þróun niðurbrots vegarins og er hönnunin þá annað hvort miðuð við að viðkomandi uppbygging endist ákveðinn tíma, eða hægt er að taka inn kostnað við mismunandi lög í veginum og láta forritið finna það sem er hagkvæmast miðað við ákveðinn endingatíma.

Farið er í gegnum aðferðirnar í leiðbeiningunum. Til að komast af stað með nýtt verkefni, virðist þurfa að byrja á því að fara í gegnum kerfi sem byggir á hefðbundnu hönnuninni, þ.e. velja þarf umferðarflokk, gerð slitlags og annarra laga o.s.frv. Þegar búið er að slá inn upphafsgildunum reiknar forritið á hefðbundinn hátt og setur fram niðurstöður. Síðan er hægt að gera breytingar á umferð, efnunum, loftslagi, kríteríum o.s.frv. gera aftur hefðbundna hönnun, simuleringu eða obtimeringu út frá kostnaði við mismunandi lög.

Greint er frá því að þegar reiknað er fyrir hægari umferð, er rétt að lækka E-módúl bikbundna laga samkvæmt líkingunni $E_{V1}/E_{V2} = (V1/V2)^{0.37}$. Einnig ætti að lækka “stuðálagið” (20% viðbót við álagið er standard?) í sama hlutfalli og hraðann. Það er gert í glugga merktum “Belastning” og er átt við “Masse af hlul” og “Affjædret mass” (sem er e.t.v. háð hvort öðru?).

Tilraun með að keyra forritið

Byrjað að keyra forritið og valið “ny strækning”.

Þá kemur fyrst val um umferðarálag (traffiklast), vel T1, og þegar það hefur verið valið þarf að velja “befæstelsestype”, sem þýðir gerð uppbyggingar, en þarna er í raun verið að velja slitlag, vel OB sem er klæðing. Það koma upp mismunandi valkostir hvað varðar gerð slitlaga (“befæstelsestyper”) háð því hvaða umferðarálag er valið. Það er samkvæmt dönsku hönnunarreglunum, þar sem mismunandi gerðir eru fyrir mismunandi aðstæður.

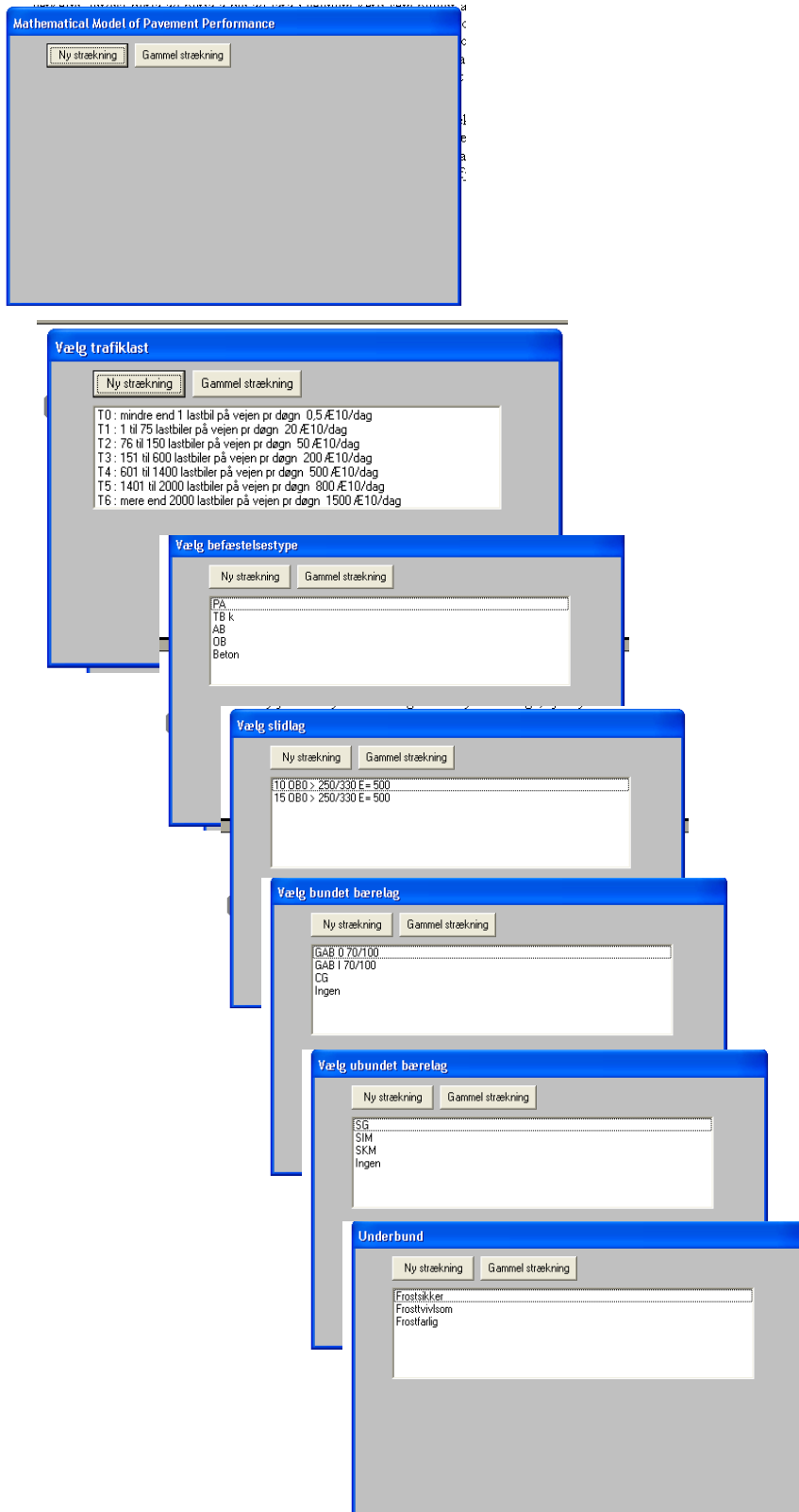
Þegar OB hefur verið valið, gefst möguleiki á tvennu 10 eða 15 OB0 (10 eða 15 mm þykkt?), en í báðum tilvikum er gert ráð fyrir að penetration bindiefnisins sé 250 til 330. Valdi 10.

Þá er næst boðið upp á að velja gerð bundins burðarlags. Valdi “ingen” eða ekki bundið burðarlag.

Næst þarf að velja óbundið burðarlag og hér var valið SG (stabil grus).

Að lokum þarf þá að velja gerð undirlags og hér var valið frostöruggt undirlag (Frostsikker).

Þessi gangur er sýndur á mynd á næstu blaðsíðu.



Niðurstaða hönnunarinnar eftir að farið var í gegnum það sem sýnt er hér að framan, kemur hér fyrir neðan:

Input parametre

Materiale	Tykkelse	E-værdi	
Nyt lag			Gem
OB > 250/330	148	500	Start
SG	160	300	Slut
Frostsikker		100	Klassisk
			Optimer

Navn: xxx Længde: 30

Hjul: 1 2

Antal pr. år: 7300

Vækst, %: 0

Min hastighed: 60 Max hastighed: 80 Start årstid: 5

Antal år i simulering: 10 Antal simuleringer: 10 DOS

Ændring af:

 xls

Eins og sést, er niðurstaðan nokkuð einkennileg, þ.e. gert er ráð fyrir að slitlagið (klæðingin) sé tæplega 15 cm þykk. Það er reyndar merkt með rauðu, sem þýðir að við erum komin yfir þykktir fyrir þessa gerð slitlags. Það þarf því eitthvað að eiga við þetta, sjá hér á eftir, en þegar komið er á þetta stig, er hægt að gera ýmsar breytingar, s.s. á loftslagi, álagi, mörkum sem stefnt er að o.s.frv.

Þrýst var á “klima” og þá birtist þessi mynd:

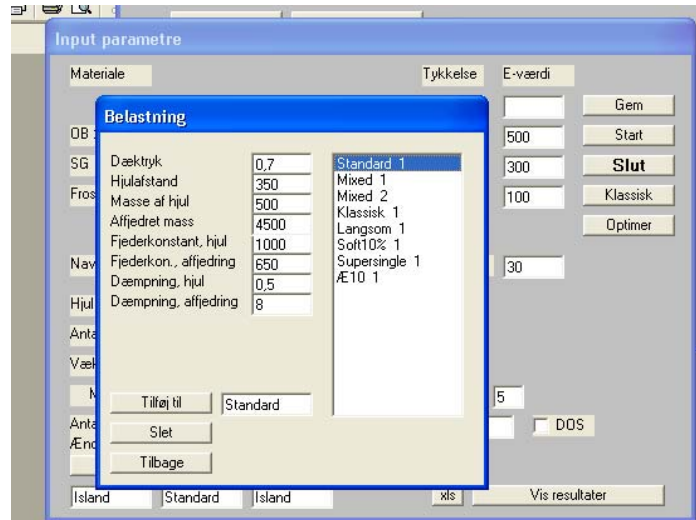
Klima

Árstid	Dage	Temp	E-værdi koefficient pr. lag				
			Lag1	Lag2	Lag3	Lag4	
Vinter	49	-2	4	4,2	10	20	Standard
Vinter tó	10	1	3,7	0,33	10	20	Beton
Töbrud	15	1	3,7	0,67	0,7	0,6	Ísland
Servár	46	4	3,1	1	0,85	0,8	
Sommer	143	20	1	1	1	1	
Hedeþöl	10	35	0,3	1	1	1	
Efterár	92	7	2,6	1	1	1	

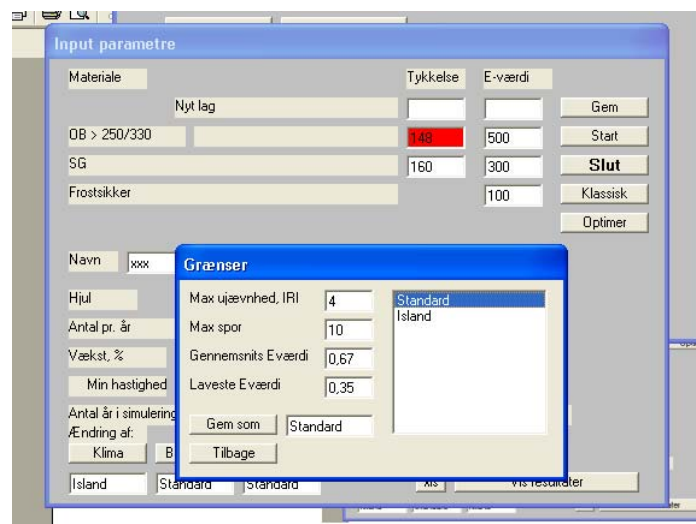
 xls

Þetta er “standard” hitastig sem er innbyggt í forritinu, en er hægt að breyta og geyma (“Gem som”). Eina breytingarnar sem voru gerðar hér, var að fjöldi daga með hitabyglju (“hedeþöl”) var færður niður í 0, en sumardögum fjölgað að sama skapi í 153. Þetta var geymt sem “Ísland”.

Ekkert var átt við álag (“Belastning”), en staðalálag forritsins (“standard”) notað, sbr. eftirfarandi:



Stöðluð mörk (“grænser”) sem stefnt er að, eru sem hér segir:



Mesta hjólfaradýpt (“max spor”) var aukið í 20 mm og geymt sem “Ísland”.

Gerð var tilraun til að bæta við einu lagi í þessa uppbyggingu, en það reyndist erfitt. Reynt var að bæta við nýju lagi eftst (“nyt lag”) og í framhaldi af því að skipta út lögnum fyrir neðan, með því að þrýsta á hnappinn “Lag”, en forritið virðist ekki leyfa skiptingar, nema með “skildum” efnunum (malbiksgerð fyrir malbik etc.) og að auki kom “runtime error” ef reynt var að skipta SG laginu og þar fyrir neðan.

Af ofangreindum ástæðum var reynt að halda áfram með þá hönnun sem komin var (hugsanlega má “plata” forritið með því að fara í gegnum verkefni sem leiðir til fjögurra laga og skipta þeim út, en í fljótu bragði virðist það ekki ganga heldur).

Nú var ofangreindum niðurstöðum “klassísku” hönnunarinnar breytt þannig, að þykkt slitlagsins var minnkuð niður í 25 mm og þykkt SG-lagsins aukin í 200 mm og forritið látið herma 20 ár fyrir þessa uppbyggingu, hermunin er sett af stað með þessu með því að þrýsta á hnappinn “start”, sjá næstu mynd.

The screenshot shows a software window titled "Input parametre" with the following fields and values:

Materiale	Tykkelse	E-værdi	
Nyt lag	0	0	Gem
OB > 250/330	25	500	Start
SG	200	300	Slut
Frostsikker		100	Klassisk
			Optimizer

Other fields include:

- Navn: prufa2
- Længde: 30
- Hjul: 1
- Antal pr. år: 7300
- Vækst, %: 0
- Min hastighed: 60
- Max hastighed: 80
- Start årstid: 5
- Antal år i simulering: 20
- Antal simuleringer: 10
- Ændring af: Klima, Belastring, Grænser, Lag
- Island, Standard, Island
- Vis resultater

Niðurstöður hermunarinnar má sjá í Excel-skjali, sjá mynd hér fyrir aftan. Efst eru niðurstöður breytinga á IRI (International Roughness Index) sem fall af tíma og sést að mörkunum er náð á 6 til 12 árum (10 hermanir eru sýndar). Á næstu mynd er þróun hjólfaramyndunar sýnd og sést að mörkum hennar (20 mm) er náð á 8 til 10 árum. Hins vegar kemur fram á neðstu myndinni að meðaltal E-gilda er komið langt niður fyrir sett mörk strax á fyrsta ári og yrði því að gera einhverjar ráðstafanir þess vegna í þessu tilviki.

Svo virðist vera af þessum tilraunum sem gerðar voru hér, að MMOPP forritið sé nokkuð staðbundið við danskar aðstæður og ekki nægilega svegjanlegt til að breyta út frá því. Það kann hins vegar að vera hægt og ef svo er, verður forritið að teljast spennandi kostur.

Hér hefur ekki verið prófaður sá möguleiki forritsins að "optimera" þykktir út frá kostnaði.

