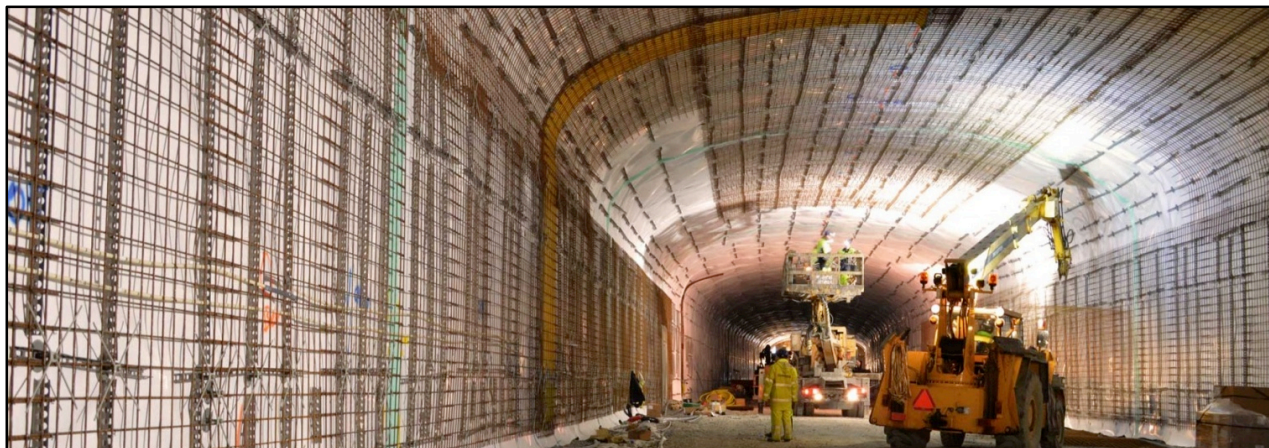




CHALMERS



Tunnelmembran med fokus på brand

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

KRISTOFFER ANDERSSON
DANIEL OMBERT

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Geologi och geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete 2015:52
Göteborg, Sverige 2015

EXAMENSARBETE 2015:52

Tunnelmembran med fokus på brand

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

KRISTOFFER ANDERSSON

DANIEL OMBERT

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Geologi och geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2015

Tunnelmembran med fokus på brand

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

KRISTOFFER ANDERSSON

DANIEL OMBERT

© KRISTOFFER ANDERSSON & DANIEL OMBERT, 2015

Examensarbete 2015:52 / Institutionen för Bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2015

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för Geologi och geoteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Kollage. Foto av tunnelmembran monterat i tunnel, Oldroyd (2015) samt brandtester av tunnelmembran på SP avd. Fire Research, Ombert, Andersson (2015).

Chalmers Reproservice/Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2015

Tunnelmembran med fokus på brand

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

KRISTOFFER ANDERSSON

DANIEL OMBERT

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Geologi och geoteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I äldre tunnlar uppstår inte sällan problem med vatten som droppar eller fukt som tränger sig in i tunneln. Detta leder till stora kostnader vintertid då det finns risk för att dagligen behöva rensa dessa tunnlar manuellt från is eftersom istappar inne i en tunnel innebär en stor säkerhetsrisk. Tunnlar tätas normalt med injektering och kan därför klara de miljökrav som finns, funktionskraven enligt TRVK Tunnel är dock svåra att uppfylla med enbart injektering. För att förhindra att detta problem uppstår har det därför på senare år börjats byggas tunnlar med en byggnadsmetod som innebär att tunneln tätas med ett plastmembran som i kombination med sprutbetong är speciellt framtagen för att förhindra att vatten och fukt läcker in i tunneln. Som fukttätning fungerar metoden bra men det råder en del oklarheter huruvida dessa membran skulle klara av en eventuell brand i en tunnel.

Skanska har intresserat sig av att ta fram en oberoende studie i ämnet. Det som behöver klargöras är vilka egenskaper hos olika tätmembran som bidrar till att klara en brandsituation bäst. Syftet med rapporten är även att visa de för- och nackdelar som finns med olika tunnelmembran, samt att redogöra för vilka typer som står sig bäst i förhållande till de brandkrav som Trafikverket ställer på membran i dagsläget.

Studiebesök har genomförts på membrantillverkaren Oldroyds fabrik i Norge och vid flera byggprojekt där tunnelmembran använts. För att verifiera att en produkt klarar kraven finns det olika klassifikationsstandarder och testmetoder. Testerna visar på faktorer så som, användningsegenskaper, tid till övertändning, utveckling av energi och värmeeffekt samt rökutveckling. Brandtester utfördes i samarbete SP i Borås. Resultaten av brandtesterna visade bl.a. hur membranens tjocklek och massa påverkar förbränningen samt förhållandet mellan förbränning och rökutveckling.

En allmän uppfattning inom branschen är att brandkraven som ställts på membran i tunnlar har varit diffusa och svårtolkade. De tidigare brandkraven i Sverige har visat sig vara mycket svåra att uppfylla, men sedan trafikverkets senaste revidering av kraven i samband med projektet förbifart Stockholm har kommit så är brandkraven mer rimliga, men fortfarande hårda.

Slutsatsen av projektet är att det fortfarande är relativt svårt för ett membran att faktiskt klara trafikverkets brandkrav helt och hållet, även om utvecklingen har tagit stora steg de senaste åren. Efter studiebesök och samtal är vi dock övertygade om att de tillverkare som jobbar med utveckling av dessa membraner inom en nära framtid kommer att lyckas producera fler produkter som når hela vägen fram.

Nyckelord: Tunnelmembran, dropptätning, säkerhet, brandkrav, brandtest, vatten och frostsäkring.

Tunnel membrane with focus on fire

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

KRISTOFFER ANDERSSON

DANIEL OMBERT

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of GeoEngineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Older tunnels without any kind of seal against water and moisture, except grouting, today have major problems with water flowing and dripping into the tunnel from the surrounding rock mass. This leads to high costs during the winter periods when the tunnels daily, for safety reasons, have to be cleared from ice and icicles. One way to solve the problem is to use a sealing membrane which is a kind of plastic sheet. This membrane combined with a layer concrete is specially designed to prevent water and moisture leaking into the tunnel. It works well as a seal but there are other aspects that need to be examined such as the fire risk present in the tunnels and how these membranes could withstand a potential fire.

Skanska has announced the need of an independent study in the subject. Which properties of different sealing membrane that helps to reduce a fire situation best was requested. The purpose of the report is also to show the advantages and disadvantages of different tunnel membranes, and to explain the types that are most appropriate in relation to the fire requirements.

Study visits were carried out at the membrane manufacturer Oldroyd's factory in Norway and on several building projects where tunnel membranes were used. To verify that a product meets the requirements there are different classification standards and test methods. The tests dealing with factors such as, ignition characteristics, time to flashover, development of energy and heat effect and smoke. Fire tests were carried out in collaboration with the Swedish testing institute in Borås. The results of the fire tests showed for example how the membrane thicknesses affect the fire and also the relationship between burning and smoke.

A general belief in the industry is that the fire requirements set for membranes in tunnels have been a bit vague and difficult to interpret. The former fire requirements in Sweden has proved to be difficult to meet, but according to the latest revision of the documents regarding requirements associated with the project "Förbifart Stockholm", the fire requirements is now more reasonable.

The conclusion of the project is that it's still relatively difficult for a membrane to actually cope the Swedish Transport Administration fire requirements altogether, although the development has made big steps forward in recent years. But after study visits and discussion, we are convinced that the producers of these membranes will manage to develop more products that reach all the way in future.

Key words: Tunnel membrane, drop sealing, safety, fire requirement, fire test, water and freezing protection

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsning	2
1.4 Metod	2
2 BYGGNADSMETOD MED TUNNELMEMBRAN	3
2.1 Krav mot inträngande vatten och fukt	4
2.2 Före montering av tunnelmembran	5
2.3 Montering av tunnelmembran	6
2.4 Efter montering av tunnelmembran	8
2.5 Underhåll och inspektion av tunnel med membran	10
3 BRANDSÄKERHET I TUNNEL	11
3.1 Brandsäkerhet under produktion	11
3.1.1 Bränder i arbetsfordon	11
3.1.2 Förvaring av material	11
3.2 Utrymning och säkerhetsutrustning	12
3.2.1 Sprinklersystem	12
4 MEMBRAN	14
4.1 Membranens mekaniska egenskaper	15
4.2 Tillverkningsprocess	16
4.3 Svetsning av membran	18
5 BRANDKRAV, KLASSIFICERING OCH TESTMETODER	19
5.1 Trafikverkets brandkrav på membran	19
5.1.1 Klassifikationsstandard EN13501-1	20
5.2 Testmetoder	22
5.2.1 EN 13823 – SBI	22
5.2.2 ISO 9705 – Room Corner Test	23
5.2.3 ISO 5660 – Konkalorimeter	24
5.2.4 EN ISO 11925-2 – Small flame test	25
CHALMERS , <i>Bygg- och miljöteknik</i> , Examensarbete 2015:52	III

5.3	Datasimuleringsverktyget ConeTools	26
6	BRANDTESTER AV MEMBRAN	27
6.1	Genomförande av EN ISO 11925-2 – Small flame test	27
6.2	Testresultat av EN ISO 11925-2	28
6.2.1	Skumtech/GSE	28
6.2.2	Oldroyd	29
6.2.3	Renolit/RKW	29
6.2.4	Sammanfattning av EN 11925-2 – Smal flame test	30
6.3	Genomförande av ISO 5660 – Konkalorimeter	31
6.4	Testresultat av ISO 5660	32
6.4.1	Skumtech/GSE	32
6.4.2	Oldroyd	33
6.4.3	Renolit/RKW	33
6.4.4	Värmeeffekt	33
6.4.5	Utvecklad energi	34
6.4.6	Utvecklad mängd rök	34
6.4.7	Massförlust	35
6.4.8	Effektivt värmevärde	35
7	SLUTSATS OCH DISKUSSION	36
7.1	Krav	36
7.2	Tjocklek	37
7.3	Flamskyddsmedel i membran	37
7.4	Samband mellan förbränning och rökutveckling	38
7.5	Sammanfattning av slutsats	39
8	REFERENSER	40

Bilagor

Bilaga 1 – Produktdatablad membran

Bilaga 2 – Testrapporter EN ISO 11925-2, Kantantändning

Bilaga 3 – Testrapporter ISO 5660 samt simulering i ConeTools

Bilaga 4 – Exempelritningar över tunnel med membran

Förord

Examensarbetet är en del av högskoleingenjörsutbildningen Byggt teknik 180hp vid Chalmers Tekniska högskola i Göteborg. Examensarbetet har skrivits för Skanska Infrastruktur i Göteborg och studiebesök har gjorts på Skanska Sveriges tunnelprojekt utmed väg E6 i Tanumshede, Skanska Norges järnvägstunnel i Larvik samt på membrantillverkaren Oldroyds fabrik i Sannidal, Norge. Brandtester av membran utfördes på SP i Borås.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare på Skanska, Björn Johansson, Projektchef i Tanumshede samt Mikael Andersson, distriktschef på Skanska Infrastruktur Göteborg, för goda råd och stort engagemang i arbetet.

Vi vill också tacka vår handledare och examinator på Chalmers, Lars-Olof Dahlström, Adjungerad Professor, Bygg- och miljöteknik, avd. Geologi och geoteknik, för all hjälp och konsultation med att hitta en så intressant inriktning på arbetet som möjligt.

Vidare vill vi tacka Per Thuresson med tekniker på SP avd. Fire Research för hjälpen med brandtester av membran samt allt stöd vid att tolka resultat, standarder och krav. Slutligen tackar vi även representanter från de olika tillverkarna Skumtech/GSE, Oldroyd samt Renolit/RKW för er medverkan i projektet i form av information och kunskap i ämnet, studiebesök samt provbitar av membran till brandtesterna.

För att finansiera projektets brandtester stod Skanska, SP samt membrantillverkare för de ekonomiska medel som krävdes. Tack, utan det hade projektet aldrig varit genomförbart.

Göteborg juni 2015

Daniel Ombert
Kristoffer Andersson

1 Inledning

Det finns idag ca 190 trafiktunnlar i Sverige, varav 165 av dessa är järnvägstunnlar och resterande 25 är vägtunnlar. Trafikverket (2015) Mellan åren 1994 till 2009 investerade Trafikverket i genomsnitt omkring 2 miljarder kronor per år i nybyggnation av tunnlar i Sverige, med en ökning de senaste åren. SP (2009). En pågående satsning och utveckling av vår infrastruktur med krav på säkra spåråren, minskat underhåll, högre hastighet och hållbarhet medför en ökning av antalet allt mer komplexa tunnelprojekt. Detta verkar som en drivkraft till att tekniken i undermarks-projekten ständigt utvecklas. Faktorer som man alltid strävar efter att förbättra är design/konstruktion, tillgänglighet, byggnadsmetoder och framförallt säkerhet.

Säkerheten i en tunnel måste alltid beaktas ur en helhetssyn där dels byggnadsverkets egenskaper vägs in, men också där det tas hänsyn till fordon, trafikanter och dess beteende. En av de största säkerhetsriskerna i en tunnel är att man befinner sig på en begränsad yta, under mark. Detta är förstås negativt ur ett säkerhetsperspektiv eftersom det försvårar en evakuering och innebär en rad andra brister så som begränsad ventilation samt en försvårad möjlighet att utrymma tunneln säkert under kort tid, vid exempelvis en brand. SP (2009)

Utmaningen i detta är att kombinera nya tekniska lösningar som dyker upp med en bibehållen säkerhetsstandard i tunnlar. En ny teknisk lösning får inte genomföras på bekostnad av minskad personsäkerhet. Hur ett tunnelmembran med primärt syfte att stänga ute fukt och vatten påverkar en tunnels beständighet och säkerhet vid en brand är ett gott exempel på detta.

1.1 Bakgrund

I äldre tunnlar utan någon form av tätning mot vatten och fukt uppstår inte sällan problem med att vatten tränger sig in i tunneln. Detta leder till stora kostnader vintertid då man blir tvungen att dagligen rensa dessa tunnlar manuellt från is. Det är dessutom en stor säkerhetsrisk för trafikanter som vistas i tunneln då det kan bildas istappar på insidan av tunnelvalvet som sedan riskerar att lossna och falla ner på vägbanan. För att förhindra att detta problem uppstår har man därför på senare år börjat bygga tunnlar med hjälp en byggmetod som innebär att vatten förhindras att komma in i trafikutrymmet genom att tunneln kläs in med en typ av plastduk som i kombination med sprutbetong är speciellt framtagen för att säkra tunnlar mot fukt. Plastduken benämns inom branschen som tunnelmembran eller tätningsmembran. Denna byggnadsmetod har visat sig fungera mycket bra ur en fukt- och droppaspekt, men samtidigt råder det en del oklarheter om huruvida membranerna står sig med avseende på brännbarhet och rökutveckling vid en potentiell brand i tunneln.

Entreprenadföretaget Skanska har under en tid efterfrågat en oberoende studie i ämnet. Det man intresserar sig för är vilka egenskaper hos olika tätningsmembran som positivt bidrar till att klara en brandsituation bäst. Trafikverket har idag ett krav på att ”membranet ska vara brandbeständigt eller inneha självsläckande egenskaper, med syfte att förhindra fortskridande brand.” Detta krav gäller allt membran, i alla utrymmen innanför inklädnadsvalv, inte bara i spårtunneln eller vägtunneln utan också i utrymningsvägar, ledningskylvert och övriga teknikutrymmen.

För att verifiera att en produkt klarar kraven finns det olika testmetoder. Testerna visar på faktorer så som, antändningsegenskaper, tid till övertändning, utveckling av energi och värmeeffekt, rökutveckling och med vissa tilläggs-mätningar även toxicitet.

Idén till examensarbetet uppkom i samband med ett av Skanskas pågående tunnelprojekt utmed den nya dragningen av väg E6 i Tanumshede där det har monterats ett tunnelmembran av just denna typ. Examensarbetet är mycket relevant i tiden då det i Sverige planeras för flera större tunnelprojekt i en nära framtid. Säkerhet är något som både Skanska och Trafikverket arbetar hårt med och därför vill man tydligt klargöra att de tunnlar som byggs uppfyller de brandkrav som finns. Både under själva byggskedet då brandrisken är som störst och när tunneln är färdigställd och skall tas i bruk.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att redogöra för- och nackdelar som finns med några av de olika tätningsmembraner som idag finns tillgängliga på marknaden, samt att visa på vilka typer som står sig bäst i förhållande till de säkerhetskrav som Trafikverket ställer på tunnelmembran i dagsläget. Dessutom syftar rapporten till att ge Trafikverket ett bättre underlag för att sätta sina krav i framtiden, samtidigt som entreprenadföretag som Skanska får en bättre bild av hur de produkter man använder sig av beter sig vid olika brandsituationer. På lång sikt är ett mål även att förbättra brandsäkerheten i tunnlar överlag genom att sprida kunskap om brandrisker i tunnlar och då i synnerhet relaterat till byggnadsmetoden som innebär fukttätning med hjälp av ett tätningsmembran.

1.3 Avgränsning

Arbetet behandlar uppgifter som kommer från verkliga tunnlar där metoden med membran använts för tätning mot vatten och fukt. Tester av membran utförs endast med hjälp av befintliga testmetoder. Rapporten behandlar ej frågor som rör ekonomi eller miljö av membran. Utländska krav och standarder som ej gäller i Sverige beaktas heller inte.

1.4 Metod

Metoden har varit en inledande litteraturstudie, studiebesök för informationshämtning som har genomförts hos tillverkare av membran och vid tunnelprojekt där dessa membran använts, samt laboratorieförsök i form av brandtester. Brandtester av membran från olika tillverkare utfördes i samarbete med avdelningen Fire Research på SP i Borås. Fakta och information har inhämtats främst ifrån tillverkare av membran, SP, Skanska och Trafikverket via dokument, äldre tekniska rapporter och samtal.

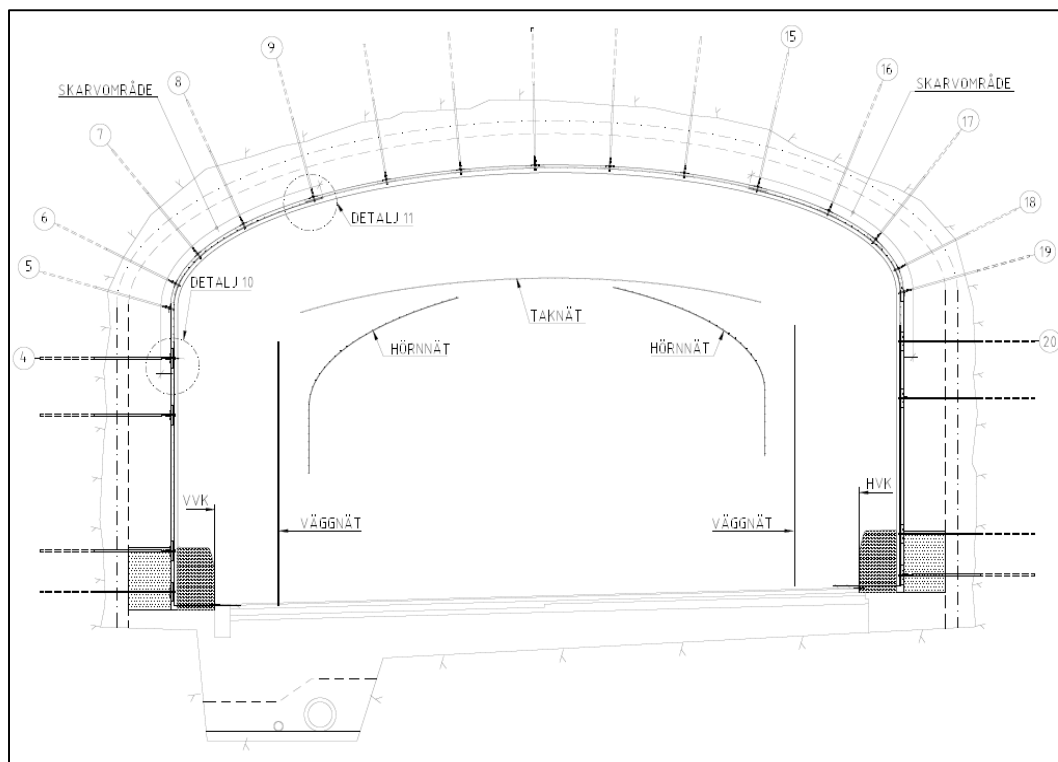
För att finansiera projektet stod Skanska, tillsammans med SP och membrantillverkare för de ekonomiska medel som brandtesterna krävde.

2 Byggnadsmetod med tunnelmembran

Detta kapitel syftar till att ge läsaren en djupare inblick och förståelse i hur en tunnel med ett tätningsmembran är uppbyggd, vilka brandtekniska åtgärder konstruktionen innehåller samt i vilken ordning olika byggnadsmoment utförs.

Ett tunnelmembran omsluter hela insidan av tunnelvalvet och dess huvudsyfte är att verka som ett skydd för att förhindra inläckande grundvatten från den omgivande bergmassan att komma in i trafikutrymmet, se Figur 2.1. För att få en helhetsbild av byggprocessen i tunnel med tätningsmembran kan momenten med fördel delas upp i olika steg.

De flesta tunnlar som byggs i dagsläget är utformade med en konstruktion innehållande ett tätningsmembran. Då en konstruktion med membran innebär en högre byggkostnad än konstruktion utan membran alls så används givetvis inte detta i onödan. Det finns särskilda krav på hur mycket vatten som får tränga in i en tunnel utan att åtgärder måste vidtas. Dessa krav finns specificerade i Trafikverkets tekniska krav på tunnlar och sammanfattas i följande avsnitt, se Kapitel 2.1.



Figur 2.1 Översiktlig ritning av en tunnel tätad med membran. Bild: Skanska

2.1 Krav mot inträngande vatten och fukt

I Trafikverkets tekniska krav på tunnlar, TRVK Tunnel, finns det specifikationer över tunnelmiljön som till största del syftar till att upprätthålla tunnelns funktion och säkerhet. Kraven som ställs på tunnelns tätskikt in mot trafikutrymmet helt utan membran är att vid lokala läckage i tunnelns väggar och tak får flödet uppgå till max 3 ml/h, som motsvarar mindre än 1 droppe/minut, detta flöde får alltså inte överskridas i någon punkt. Utrymmen i tunneln som skall klara kraven mot läckage är främst över körbanor, elinstallationer och nödsituationsutrustning. Krav gällande maximalt flöde vid en lokal läcka är ett krav som även gäller läckage i tågtunnlar, gång/cykeltunnlar samt i installationsutrymmen och utrymningsvägar.

I tunnelns övriga utrymmen gäller ett lägre krav då det maximala flödet vid en lokal läcka får vara högst 450 ml/h, som motsvarar mindre än 150 droppar/minut. Allt inträngande vatten i tunneln skall samlas upp och ledas ut ur tunneln på ett frostfritt sätt för att inte skapa problem i form av isbildning och fukt. Trafikverket (2011)

Överskrider flödet dessa krav måste alltså ett tunnelmembran monteras. Kraven på täthet vid membran är att det skall vara helt vattentätt.

2.2 Före montering av tunnelmembran

Grundmetoden för att anlägga en tunnel med tätningsmembran är den samma som används vid alla typer av bergtunnlar. För att ta sig igenom berget borrar och sprängs först ett hålrum enligt traditionell metod där man borrar flertalet hål för att sedan fylla dessa med sprängmedel. Vid behov förstärks berget med ingjutna bergbult vilken vanligtvis kompletteras med ett lager stålfiberarmerad sprutbetong. I detta skede tätas också tunneln mot inträngande vatten genom injektering, detta är dock svårt att göra till den grad att trafikverkets krav på täthet uppfylls, därför används membran för att avskärma vägområdet m.m. från fukt och därmed risk för istappar.

För att få en uppfattning om bergets kvalité görs en okulär besiktning. Berget klassas i fem olika nivåer från nivå 1 som benämns som ”ganska bra berg” till nivå 5 som benämns ”exceptionellt dåligt berg”. BaTMan (2011). Utifrån denna klassning bestäms sedan om och hur berget skall förstärkas på olika delar av tunneln. Där berget är som starkast och därmed har bäst kvalité behövs ingen särskild bergförstärkning, medan där berget har nivå 2 eller sämre så används förstärkning.

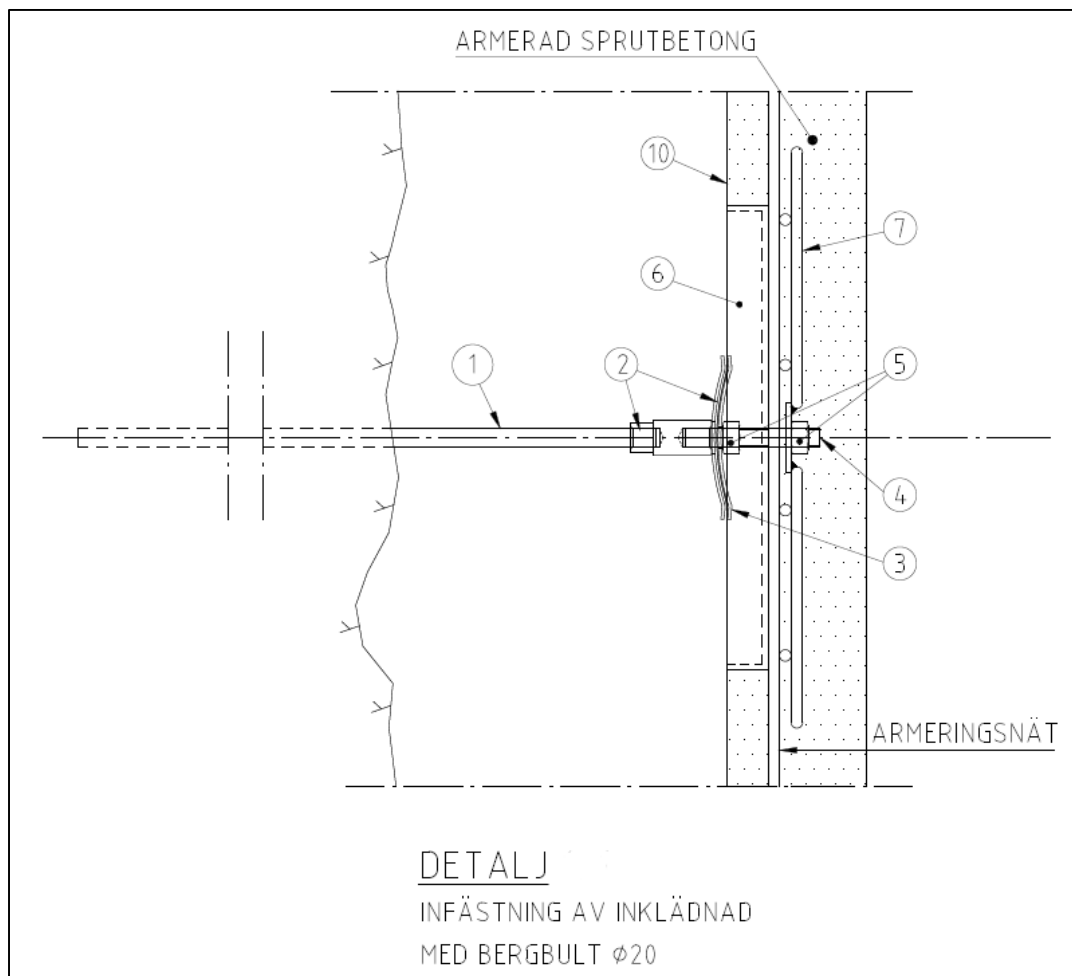
För att skydda bergbultens utstickande skalle mot korrosion och förhindra att stenar och mindre block faller ner från berget, sprutas därefter ett lager med fiberarmerad betong direkt på berget, både på väggarna och i taket, se Figur 2.2. Stålfibrerna som betongen innehåller är ca 4 cm långa ståltrådar som fungerar som armering och medför att betonglagret bildar ett kontinuerligt valv som kan ta upp och leda ner krafter som utvecklas när berget rör sig. Utanpå detta armerade betonglagret sprutas ytterligare ett lager betong. Detta är ett tunt lager med oarmerad betong som skall täcka eventuella utstickande armeringsfibrer. Johansson. (2015)



Figur 2.2 Sprutbetong sprutas på berget i tunneln till väg E6 i Tanumshede.
Bild: K.Andersson

2.3 Montering av tunnelmembran

När alla ytor i tunneln är täckta med sprutbetong så är nästa steg att avskärma vägområdet från vatten och fukt. Detta görs med tunnelmembran som spänns upp på utstickande förankringsbult som installeras för att just hålla membranet med tillhörande sprutbetong på rätt plats. Tjockleken på membranet kan variera mellan 1-2.5 mm beroende på uppbyggnad, tillverkare och variant. Det tätande skiktet monteras med ett mellanrum på omkring 70-80 cm från berget eftersom det måste finnas möjlighet att kunna inspektera berget, membranet och övriga installationer i framtiden. För att hänga upp membranet fästs bergbult på liknande sätt som bergbulten som användes för bergförstärkning, se Figur 2.3.



Figur 2.3 Detalj över infästning av membran med bergbult, där membranet är punkt 10 och den gängade bergbulten punkt 1. Bild: Skanska

Bultarnas position bestäms av konstruktören för att inklädnadsväggen skall kunna ta upp laster såsom egenvikt, krocklast, islast och explosionslast. Bultarna till membranet monteras tätare i nederkant av väggarna och glesare i mitten då membranet inte utsätts för några direkta krafter på de lodräta ytorna. Stängerna är även kraftigare i nederkant av väggarna eftersom de skall klara av en kollision utan att ge vika. Längst ut monteras det en bricka till att fästa membranet mot, se Figur 2.4. Brickan är konstruerad med en hylsa som ansluts mot bulten för att ytterligare minimera risken att vatten skall tränga igenom duken vid infästningen.

För att stängerna inte skall korrodera kan de t.ex. ytbehandlas med en epoxifärg som skyddar stålet. Alternativt med rostfria stål används också. Då stängerna skall sluta i ett jämnt plan in mot tunneln så ritas hela tunneln med alla stänger upp i ett 3D-program. Med hjälp av 3D-modellen möjliggörs användningen av en bergbormaskin som borrar individuella hål med exakt djup till alla stänger. Anledningen till detta är att underlätta monteringen. Alternativet är att montera bergbult med hjälplinor och kapa dem på rätt längd vid monteringen.



*Figur 2.4 Stänger som bär upp membranet, hylsa och tätningsbricka i änden.
Bild: D.Ombert*

När stängerna är fastsatta är det dags att montera upp membranet. Till det används en specialbyggd maskin som rullar ut membranet längs med tunnelvalvet samtidigt som membranet trycks upp mot infästningsstängerna, se Figur 2.5. Man gör sedan hål i membranet för hand, sticker igenom gängstängerna och skruvar ihop allt med brickor så att det blir helt vattentätt. Membranet överlappas 150 mm och skarvarna svetsas ihop för absolut täthet. Johansson. (2015)



Figur 2.5 Maskin för montering av membran. Bild: D.Ombert

2.4 Efter montering av tunnelmembran

Nästa steg i processen är att montera armering utanpå membranet för att stärka den yttersta sprutbetongen. Armeringen bidrar tillsammans med en skrovlig yta på membranet till att öka vidhäftningen av sprutbetongen. Armeringen består av armeringsmattor som najas ihop och skruvas fast på distansskenor med hjälp av kryss, se Figur 2.6.

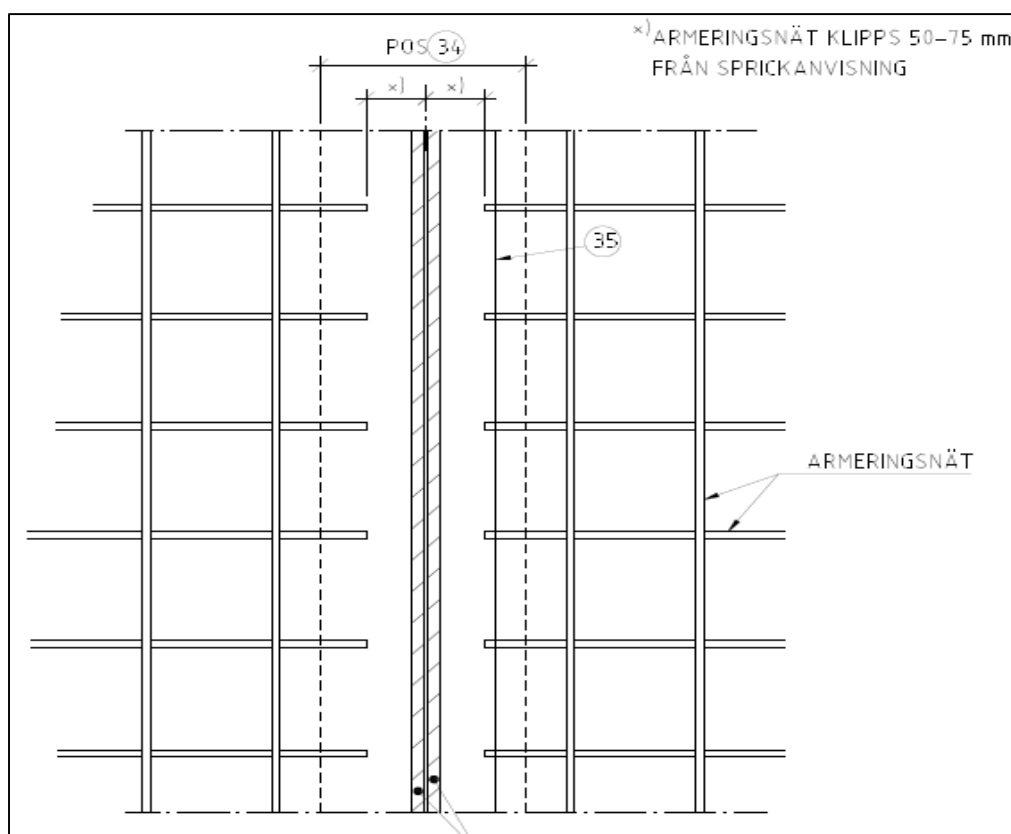


Figur 2.6 Armeringsnät monterat med kryss på distansskenor, utanpå membran. Bild: K.Andersson

Ett av de sista stegen i byggprocessen av själva tunnelvalvet är att lägga på det yttersta lagret med sprutbetong. Det är alltså detta lager som kommer synas inne i tunneln och skydda tunnelmembranet mot fysiska skador samt höga temperaturer vid en eventuell brandsituation, 100 mm är en vanlig tjocklek på detta betonglager.

Betongen som används i detta lager innehåller små plastfibrer som skall förbättra betongens hållfasthet mot spjälkning vid brand. Betongen innehåller omkring 2 kg plastfibrer per m³. Syftet är att vid en eventuell brand skall plastfibrerna i betongen smälta av värmen som uppstår från branden, när plasten smälter uppstår små hålrum i betongen som ger plats för fukten i betongen att expandera i dessa hålrum. Detta medför att betongen inte spjälkas lika lätt som vanlig betong och på så vis klarar en brandsituation längre. För att minimera riskerna att skada tunnelväggen om något kolliderar med väggen monteras det prefabricerade betongbarriärer mellan det yttersta betongskiktet och vägbanan. Dessa element är konstruerade att kunna hantera laster motsvarande en kollision från ett tungt fordon.

Vertikala rörelsefogar med cc 12-20 m skapas i armeringen och sprutbetongen i tunneln, se Figur 2.7. Det görs eftersom betongen ofrånkomligt kommer röra sig vid temperaturskillnader och om det då inte finns utrymme för betongen att expandera eller krympa så kommer den att spricka okontrollerat på olika ställen. Detta vill givetvis undvikas då tätningsmembranet blir extra utsatt om det finns en öppen fog in mot membranet. Istället kontrollerar man det hela genom att medvetet avbryta armeringen och montera plastvinklar som fungerar som sprickanvisning, brandväv monteras under plastvinkeln för att skydda membranet från en eventuell brand i vägutrymmet. Dessa skarvar löper vertikalt upp för väggen, över taket och ner på den andra väggen. Johansson. (2015)



Figur 2.7 Detaljritning av en rörelsefog/sprickanvisning i tunnel. Bild: Skanska

2.5 Underhåll och inspektion av tunnel med membran

En tunnel bör byggas på ett sätt som underlättar möjligheten till att inspektera konstruktionens alla delar över tid. Trafikverket har olika önskemål om inspektion beroende på tunnelns utformning. Trafikverket (2011). En tunnel med tätningsmembran har begränsade möjligheter av inspektion av berget bakom tätskiktet. Då det finns ett utrymme mellan tätskiktet och berget går det inspektera, dock kan man inte utföra något underhåll av det bärande huvudsystemet utan att behöva plocka ned inklädnaden. Det är en stor nackdel och något som måste vägas in i det samlade planerade underhållet av en tunnel med membran. En gjuten tunnel, alltså med installerad betonglining, går utmärkt att inspektera då "liningen" är en samverkande del av det bärande huvudsystemet och således dimensionerad för att hantera rådande lastförutsättningar. Inspektioner av ett inklädnadssystem kan ske okulärt på handnära håll genom att en sakkunnig kryper i hålrummet mellan tätskikt och berg och kontrollerar om berget rört sig eller om skador på det bärande huvudsystemet eller tätskiktet uppstått. Andra metoder är att använda stationära eller portabla sensorer, mätutrustning eller kameror. Dahlström (2015).

Ur arbetsmiljösynpunkt är utrymmena som används vid inspektion ofta trånga och svåra att röra sig i, det är något som kan förbättras genom att lämna ett större avstånd mellan tätskikt och berg. Detta är dock både svårt och dyrt. Bergbulten som håller membranet måste både vara längre och kraftigare för att klara av de ökade lasterna. För att få plats med större inspektionsutrymmen krävs även att själva hålet i berget görs större, vilket leder till att mer arbete med sprängning samt att mer massor måste fraktas bort, det blir även större ytor att klä in. Allt detta leder till ökade byggkostnader. För att underlätta kontroller och inspektioner skall vid behov stegar, landgångar eller andra underlättande anordningar installeras. Tunnelns bärande system, omgivande bergmassa, bergbult, sprutbetong och andra förstärkande åtgärder skall kunna inspekteras. I vissa tunnlar finns det även krav på att bultar skall kunna hållfasthetstestas när tunneln är i drift, detta kräver att vissa av bultarna inte täcks med betong för att man skall kunna fästa testutrustningen på dessa bultar. Trafikverket (2011)

3 Brandsäkerhet i tunnel

Generellt sett så innebär en tunnel en ökad säkerhetsrisk med avseende på brand, i jämförelse med övriga delar av en vägsträckning. Detta eftersom det finns begränsade möjligheter till säker evakuering samt frånluftsventilation av eventuella rökgaser. Det krävs därför en ökad medvetenhet bland de personer som vistas i tunneln samtidigt som riskerna kräver att det utförs en rad extra säkerhetsåtgärder som verkar både i tunnelns konstruktion samt under tunnelns produktion och användande.

3.1 Brandsäkerhet under produktion

Under produktionen av en tunnel är det mycket folk som rör sig i och omkring tunneln. Detta medför att det är viktigt att upprätthålla en god säkerhet på arbetsplatsen. En tunnel som är under produktion skiljer sig mycket från en färdig tunnel med avseende på utrymning och säkerhetsanordningar. Säkerheten under produktionen skiljer sig även beroende på vilken fas av byggnationen man befinner sig i. Det är till exempel svårare att utrymma en tunnel innan genomslag då det endast finns en utrymningsväg, samtidigt har en brand som inträffar i detta skede av byggnationen svårare för att sprida sig då bristen på nytt syre hämmar branden. När man har nått genomslag och tunneln har två öppningar förbättras utrymningsmöjligheten och därmed förbättras även möjligheten för räddningstjänsten att utföra sitt arbete på ett säkert sätt vid eventuell olycka. Om man kollar på brandrisken så ökar dock möjligheten för branden sprids när det kan blåsa igenom tunneln. Före genomslaget i tunneln används en mekanisk ventilation i form av en ventilationstub och stora fläktar som transporterar fram frisk luft till arbetsplatsen inne i tunneln. Efter genomslaget är det oftast den naturliga ventilationen i form av vind och blåst som ventilerar tunneln. Andra faktorer som påverkar säkerheten vid en tunnelbyggnation är tunnelns längd, lutning och tvärsnitt.

Enligt Europeiska bestämmelser tillåts 50m fritt exponerat tunnelmembran utan att behöva vidta några särskilda brandtekniska åtgärder. Då det är över 50m fritt exponerat tunnelmembran krävs däremot kraftiga brandskyddsåtgärder för att minimera risken för en brand. I övrigt är det viktigt att man arbetar på ett säkert sätt och har god tillgång till släckutrustning för att vara så bra förberedd som möjligt om en brand skulle inträffa. MSB (2011)

3.1.1 Bränder i arbetsfordon

En vanlig brandsak är läckage av oljor eller bränslen från arbetsfordon. Vid konventionell tunneldrift, när man borrar och spränger, skall den dimensionerande tunnelbranden vara en dumper, alternativt två bilar. En brand i ett stort däck till en hjullastare går att jämföra med en brand i en bil.

3.1.2 Förvaring av material

Något som varierar mellan olika arbetsplatser men som också är viktigt att tänka på och vara medveten om är hur olika byggnadsmaterial lagras under byggtiden. Allt brännbart material inne i tunneln medför en ökad risk. På vissa arbetsplatser lagras exempelvis rullarna med membran under jord inne i tunneln, detta är något som medför ökade risker vid en eventuell brand. En rekommendation är ytan av ett brännbart material som lagras i tunnel inte bör överstiga 25m². MSB (2011)

3.2 Utrymning och säkerhetsutrustning

Avståndet mellan utrymningsvägarna i en tunnel får inte överskrida 150 m, om tunneln är kortare än 600 m får dock avståndet mellan utrymningstunnlarna uppgå till 200 m.

Enligt 48 § i Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar skall trafikanterna på egen hand kunna utrymma en tunnel på något av följande tre olika sätt.

1. Utrymning direkt till det fria.
2. Separat utrymningstunnel
3. Räddningstunnel mellan tunnelrören i de olika riktningarna

Säkerhetsutrustning som skall finnas vid en tunnel är bland annat brandsläckare, vattenposter, och nödtelefoner. Brandsläckare ska vara placerade vid tunnelns mynning, nöduppställningsplatser och andra naturliga platser inne i tunneln, samt med maximalt 150 m mellanrum. Transportstyrelsen (2012)



Figur 3.1 Sprinklersystem, nödtelefon och brandsläckare är exempel på säkerhetsutrustning i en tunnel. Bild: Trafikverket

3.2.1 Sprinklersystem

För att öka brandsäkerheten ytterligare blir sprinklersystem i tunnlar allt vanligare. I Dagsläget finns det tre tunnlar i Sverige som har utrustats med sprinklersystem. Nyteknik (2013). Utvecklingen av systemen går framåt och enligt försök gjorda av SP i varierar funktionaliteten beroende på hur systemet är utformat. Lufthastigheten i tunneln visade sig påverka systemets funktion stort. I försöket som utfördes av SP blev slutsatsen att så länge lufthastigheten höll sig under 4 m/s så fungerade systemet tillfredställande. SP (2011). Huvudsyftet är att sprinklersystemet skall lösa ut snabbt vid brand och ”bromsa” branden så pass mycket att personer i tunneln skall hinna utrymma innan branden har blivit för kraftig.

Inför projektet Förbifart Stockholm, som vid färdigställande blir Sveriges längsta tunnel, planeras det för ett nytt mer effektivt sprinklersystem. Den största skillnaden mot det äldre systemet är mängden vatten som systemet klarar att spruta ut per tidsenhet. Det nya systemet är konstruerat så att det löper ett rör i mitten av tunnelns tak genom hela tunneln. Sprinklerdysorna är placerade i par var femte meter, varje dysa kan spruta upp till 375 liter vatten per minut och fördelar det jämt över hela tunnelns bredd. Sprinklersystemet är konstruerat så att sprinklerdysorna sprider ut stora vattendroppar som på ett effektivt sätt ska hämma eller i bästa fall släcka elden.

I september 2013 utfördes ett fullskaligt sprinklertest i en övergiven tunnel i Norge. 420 lastpallar i trä beklädda med plåt sattes i brand för att motsvara en brinnande långtradare. Testet som gjordes i samarbete med SP visar att det utan problem går att sprida vattnet över tre körfält, se Figur 3.2. Detta är en lösning som blir hälften så dyr som ett vanligt sprinklersystem som kräver fler rör och fler dysor, då dysorna i ett vanligt sprinklersystem sprutar vattnet vertikalt istället för horisontellt som det nya systemet gör. Rören som används är stålrör som är täckta med termoplast både på in- och utsidan av rören, detta är ett billigare alternativ än rostfria rör som används i vanliga fall. Nyteknik (2013)



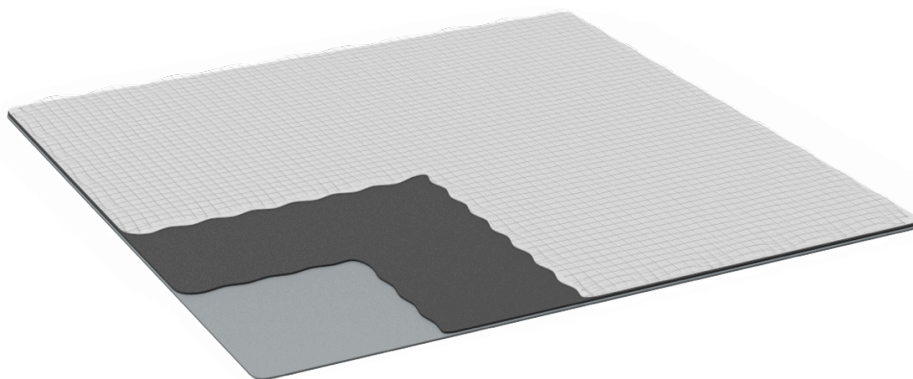
Figur 3.2 Test av sprinklersystem. Testet utfördes av SP i en övergiven norsk tunnel 2013. Bild: SP

4 Membran

Det finns ett flertal olika tillverkare av tunnelsemembran runt om i världen. I detta examensarbete har membran från tre olika tillverkare studerats, testats, utvärderats och jämförts. Leverantörerna som har visat intresse för undersökningen och bidragit med material är Skumtech/GSE, Oldroyd och Renolit/RKW. Följande membran har testats:

- **Skumtech/GSE** – Ultraflex, Flamskyddsbehandlat membran med tre lager. Två olika tjocklekar: 1,5 mm och 2,0 mm.
- **Oldroyd** – Multisafe R1500 – 1,5 mm membran med tre lager + ett nytt 1,1 mm membran med 20-30% flamskyddsmedel i, detta membran är fortfarande under utvecklingsstadiet och finns ej på marknaden i dagsläget.
- **Renolit/RKW** – Wepelen LLDPE Geosynthetic Barrier – 1,5 mm, Svart tunnelsemembran i ett massivt lager.

De membran som har testats är i stort sett uppbyggda på samma sätt. Plastmaterialet som används vid tillverkning är en linjär lågdensitetspolyeten, förkortas LLDPE. Denna plastsammansättning innehåller enligt tillverkarna 97,5% polyeten och 2,5% carbon black som verkar dels som plastförstärkare och till viss del flamhämmande men också som pigment för att förbättra beständigheten mot UV-ljus. Kemikalieinspektionen (2008). Membranen innehåller också spår av antioxidanter och värmestabilisatorer. Den exakta plastsammansättning som används i membran är svår att undersöka i detalj då varje tillverkare är aningen förtegen om just sin unika blandning. Vanligen består membranet av flera lager, se Figur 4.1, med olika egenskaper för att de tillsammans ska klara de olika mekaniska krav som ställs på membranet.



Figur 4.1 Exempel på ett tunnelsemembrans uppbyggnad, här membranet Multisafe R1500 från Oldroyd med tre olika lager. Ytterst in mot tunneln har man lagt ett vitt lager för att skapa en ljusare och säkrare arbetsmiljö under installationen. I mitten finns ett svart lager för att det skall vara lättare att upptäcka ev. skador såsom revor eller hål i samband med installation. Bild: Oldroyd

Egenskaper som man eftersträvar är att det skall vara tåligt med avseende på töjning, punktering, rivhållfasthet och temperaturskillnader, dessutom bör det vara eftergivligt och lätt att jobba med vilket är en fördel vid installation. Att membranet är tåligt med avseende på töjning och punktering är ett krav för att det skall gå att täcka membranet med sprutbetong utan att den tappar sin form. För att öka vidhäftningen mellan membranet och betongen finns det membran som har en texturerad yta istället för en slät där man sprutar betongen.

Membranen levereras på rullar med bredder mellan 2.0m – 7.5m, längden membran per rulle varierar lite mellan de olika tillverkarna, men vanligt är omkring 70m per rulle.

4.1 Membranens mekaniska egenskaper

Med utgångspunkt från tillverkarnas framtagna produktdatablad har membranens mekaniska egenskaper sammanställts, se Tabell 4.1. Membranen i tabellen är alla 1,5 mm tjocka och marknadsförs som speciellt framtagna för vatten- och fuktsäkring av tunnlar och bergrum i kombination med sprutbetong. Utöver dessa tre 1,5 mm membran har ett tjockare membran (Skumtech Ultraflex 2,0 mm) samt ett tunnare (Oldroyd 1,1 mm med 20-30% flamskyddsmedel) testats. Detta för att skapa en förståelse om tjocklekens inverkan på brandbeständigheten.

Tabell 4.1 Jämförelse över 1,5 mm membranens mekaniska egenskaper.

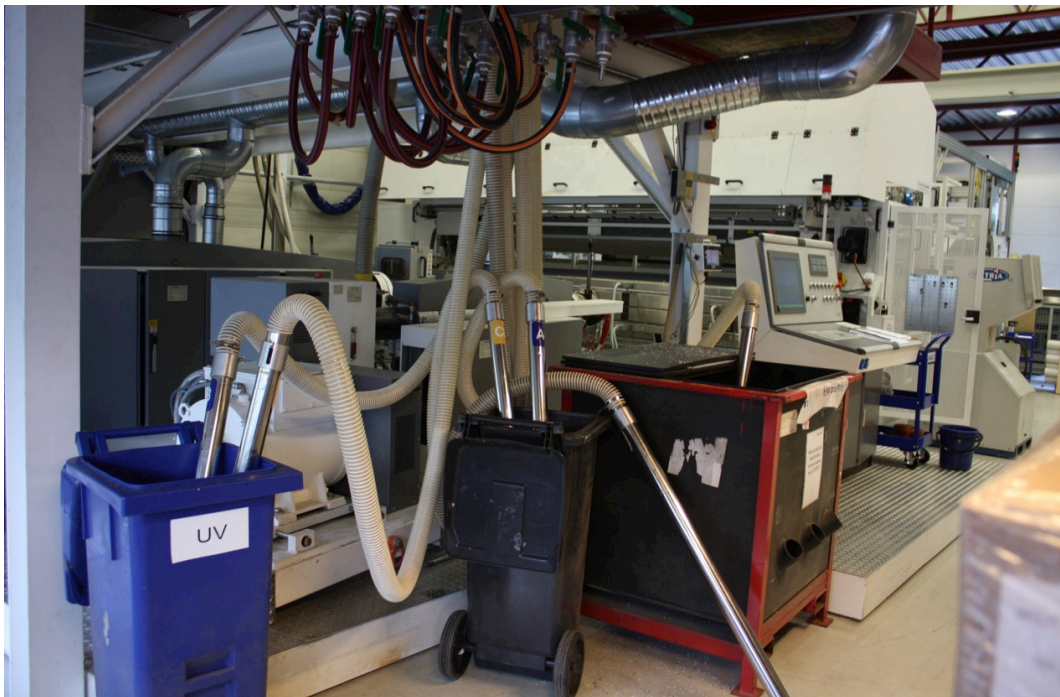
Egenskaper	Enhet	Skumtech – GSE Ultraflex 1.5	Oldroyd – Multisafe R1500	RKW – Wepelen Geosynthetic Barrier
Tjocklek	mm	1.5	1.5	1.5
Densitet	g/cm ³	0.939	0.933	0.940
Brottspänning	MPa	33	≥10	36
Brottförlängning	%	900	≥800	900
Punkteringsmotstånd	N	430	≥200	-
Dimensionsstabilitet	%	±2.0	≤1.0	<2.0
Rivhållfasthet	N	175	-	130
Sprödhet (låg temp)	°C	-77	< - 25	< - 40

4.2 Tillverkningsprocess

Det finns givetvis variationer mellan olika tillverkares sätt att producera ett tunnelfolium men den generella metoden som används bygger ändå på samma process. Följande avsnitt grundar sig i tillverkaren Oldroyds produktion av membran. Plastmaterialet kommer till fabriken i form av små pärlor eller pellets, och lagras sedan i silos. Innan användning torkas pärlorna för att bli av med eventuell kondens som bildats i silon. Om det kommer fukt i plastmassan finns det stor risk för skador och porbildning i det färdiga membranet. Det finns plastmassor med olika egenskaper som exempelvis UV-beständighet eller värmestabilisering. Dessutom finns det material i många olika färger för att kunna skapa ett membran med det rätta utseendet. Ursprungligen är membranet vitt och det krävs endast några få procent färgade pärlor för att färga membranet i en speciell kulör, exempelvis gult, grönt eller svart.

Membran som av någon anledning kasserats på fabriken, mals ned och skickas vidare till en plasttillverkare som smälter ned och tillverkar nytt plastmaterial. På så vis återvinns allt kasserat material. Molund (2015)

Pärlorna sugas in i en maskin som smälter dem och fördelar ut den flytande massan längs munstycket som sprider isär massan till önskad bredd och tjocklek innan den rullas över olika valsar och slutligen upp på en rulle, se Figur 4.2 och 4.3. Tjockleken ställs in manuellt med ställskruvar för att uppnå önskvärt resultat. Det tar därför lång tid att starta tillverkningen av en ny serie, dock flyter det på snabbt och enkelt när maskinen väl är inställd och kalibrerad. Membranet går att få i olika bredder efter önskemål, den maximala bredden varierar något mellan tillverkare beroende på tillverkningsmaskinernas bredd.

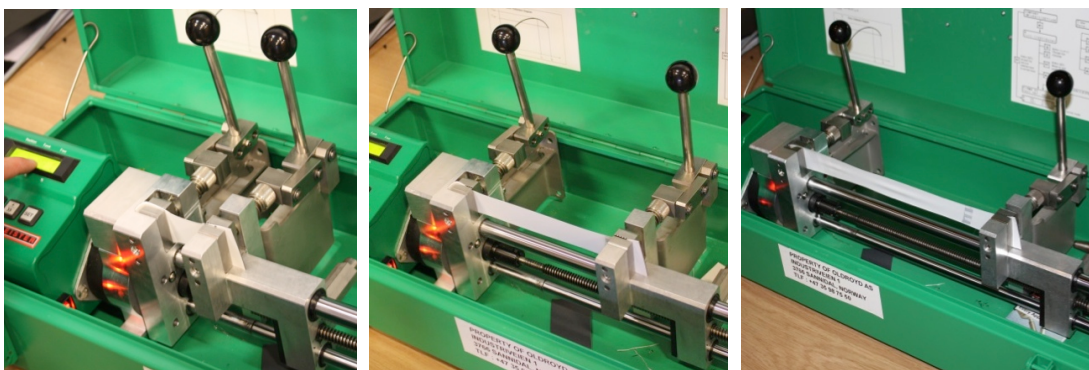


Figur 4.2 Olika plastmaterial sugas upp och blandas innan de smälts samman och bildar ett membran. Bild: D.Ombert



*Figur 4.3 Membranet sträcks genom olika valsar för att slutligen rullas på rulle.
Bild: D.Ombert*

Innan en ny serie av beställt membran lämnar fabriken kontrolleras alltid membranets mekaniska egenskaper med hänsyn till töjning, hållfasthet och brottförlängning. Detta görs i ett specialinstrument där membranet spänns upp och utsätts för en förutbestämd kraft, se figur 4.4. Detta är ett av många steg i den kvalitetskontroll som utförs på membranen. Kontrollen är en säkerhet både för leverantör och beställare. Allt för att undvika kostsamma misstag.

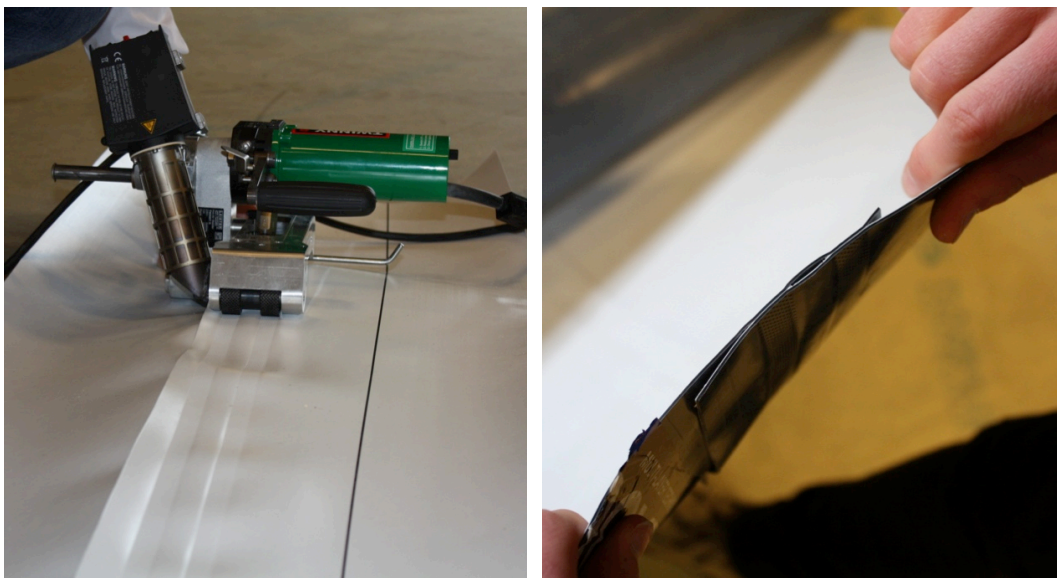


Figur 4.4 Membranet testas för mekanisk överkan genom att maskinen drar i membranet med en förutbestämd kraft. Här testas Oldroyd Multisafe 1500R. Bild: D.Ombert

4.3 Svetsning av membran

Vid svetsning av membran i tunnlar används en speciell handhållen maskin som består av en varmluftspistol och en press som pressar ihop membranerna med en kraft på omkring 800N samtidigt som den långsamt drivs framåt av små drivhjul. Det är viktigt att maskinen håller ett konstant tryck, hastighet samt temperatur för att få en bra och stark svets som blir tät och kan ta upp dragkrafter.

Membranet överlappas ungefär 15 cm vid skarvning, sedan körs svetsmaskinen över båda membranerna och smälter ihop dem i två svetsremсор med en luftkanal i mellan, se Figur 4.5. Luftkanalen i mitten används för att kontrollera att svetsen är helt tät. Genom att trycksätta kanalen med tryckluft och kontrollera så att trycket inte sjunker upptäcks enkelt eventuella läckor i svetsen. Molund (2015)



Figur 4.5 Membranet svetsas ihop med hjälp av varmluft och pressteknik. Bild: D.Ombert

5 Brandkrav, klassificering och testmetoder

Följande kapitel går igenom vilka krav som Trafikverket i dagsläget ställer på membran, vilka klassningar kraven grundar sig i, samt hur man verifierar att en produkt uppfyller kraven.

5.1 Trafikverkets brandkrav på membran

Under många år har brandkraven på ett tunnelmembran i Sverige sett ut enligt följande: ”Tätmembranet ska bestå av material med begränsad brännbarhet och med följande minimikrav enligt ISO 9705:

- Tid till övertändning, 20 minuter
- Genomsnittlig maximal värmeavgång under 30 sekunder, 300 kW
- Genomsnittlig maximal värmeavgång från produkten, 50kW
- Genomsnittlig maximal rökproduktion under 60 sekunder, 2,3 m²/s
- Genomsnittlig rökproduktion, 0,7 m²/s”

Kraven har alltså fram till 2015 enbart varit baserade på testmetoden ISO 9705. I samband med projekteringsfasen av det omfattande projektet förbifart Stockholm valde Trafikverket nyligen att revidera kraven och formulera texten annorlunda. I dagsläget skall ett tunnelmembran uppfylla följande brandkrav:

”Membranet skall vara brandbeständigt eller inneha självsläckande egenskaper, med syfte att förhindra fortskridande brand. Detta krav gäller allt membran innanför inklädnadsvalv, i utrymningsvägar, i ledningskulvert och i övriga teknikutrymmen. Kravet anses uppfyllt via något av följande kriterier:

- Membranet ska utföras i minst brandteknisk klass D-s2,d1 i enlighet med klassifikationsstandard EN13501-1. Tillämpliga provningsstandarder är EN 13823 och EN ISO 11925-2.
- Membranet ska utföras i minst brandteknisk klass E i enlighet med klassifikationsstandard EN13501-1. Följande tillägg ska uppfyllas: efterbrinntiden efter det att tändkällan avlägsnats ska för varje delförsök vara maximalt 10 sekunder.” Trafikverket (2015).

5.1.1 Klassifikationsstandard EN13501-1

Klassifikationsstandard EN13501-1 är en Svensk standard som är utgiven av Swedish Standard Institute i olika utgåvor, senast 2009. Dokumentet innehåller flera olika klassningsnivåer och tilläggsklassningar inom byggprodukter och byggnadselement. SIS (2009). Standarden definierar och beskriver de olika Euroklasser och klassbeteckningar som finns.

Det finns 7 olika klasser på ytskikt enligt Euroklass: A, A2, B, C, D, E och F.

- A - Obrännbart material
- A2 - Obrännbart med brännbart ytskikt
- B - Ytskiktclass 1
- C - Ytskiktclass 2
- D - Ytskiktclass 3
- E - Lägsta klassen, kombineras med index d2
- F - Ingen prestanda fastställd

Systemet kompletteras också med olika index.

-s, rökutveckling:

- -s1 Minimalt bidrag till ökad rökutveckling. (alltid krav inomhus)
- -s2 Betydande rökutveckling.
- -s3 Kraftig rökutveckling

-d, brinnande delar:

- -d0 Inga brinnande droppar eller partiklar förekommer
- -d1 Brinnande delar förekommer i mycket begränsad omfattning.
- -d2 Stor del brinnande partiklar, droppar förekommer

Varje klass innebär olika maxvärden på förbränningsvärme, brandutvecklingshastighet, värmevärde och flamspridning, se tabell 5.1. SP (2015)

Tabell 5.1 Beskrivning av Euroklasser A-F

Klass	Testmetod	Kriterier
A	EN ISO 1182	DT < 30 °C; och Dm <50 %; och tf = 0 (inga flammor)
	EN ISO 1716	PCS < 2.0 MJ.kg-1 (1) och PCS < 2.0 MJ.kg-1 (2), (2a) och PCS < 1.4 MJ.m-2 (3) och PCS < 2.0 MJ.kg-1 (4)
A2	EN ISO 1182	DT < 50°C; och Dm < 50%; och tf < 20s
	EN ISO 1716	PCS < 3.0 MJ.kg-1 (1) och PCS < 4.0 MJ.m-2 (2) och PCS < 4,0 MJ.m-2 (3) och PCS <3.0 MJ.kg-1 (4)
	EN 13823 (SBI)	FIGRA <120 W.s-1; och LFS < kant av provbit och THR600s < 7.5 MJ
B	EN 13823 (SBI)	FIGRA < 120 W.s-1; och LFS < edge of specimen; och THR600s < 7.5 MJ
	EN ISO 11925-2, 30s exponering	Fs < 150 mm under 60s
C	EN 13823 (SBI)	FIGRA < 250 W.s-1; och LFS < kant av provbit; och THR600s <15 MJ
	EN ISO 11925-2, 30s exponering	Fs < 150mm under 60s
D	EN 13823 (SBI)	FIGRA < 750 W.s-1
	EN ISO 11925-2, 30s exponering	Fs < 150 mm under 60s
E	EN ISO 11925-2, 15s exponering	Fs < 150 mm under 20s
F	Ingen prestanda fastställd	
<p>(1)= För homogena produkter och väsentliga delar av icke homogena produkter (2)= För externa icke väsentliga delar av icke homogena produkter (3)= För interna icke väsentliga delar av icke homogena produkter (4)= För produkter i sin helhet</p> <p>tf= Flamperiodens varaktighet, PCS= Kalorimetriskt värmevärde, FIGRA=Brandutvecklingshastighet, LFS= Horisontell flamspridning, THR600s= Total rökproduktion, Fs= Flamspridning</p>		

5.2 Testmetoder

För att verifiera att ett material uppfyller en viss klassifikationsstandard skall materialet klara relaterade testmetoder som motsvarar de krav som standaren ställer. I trafikverkets senaste brandkrav nämns det två tillämpliga provningsstandarder, EN 13823 och EN ISO 11925-2. Det finns även flera andra testmetoder som kan referera och visa indikationer på vilket resultat ett fullskaligt test skulle kunna uppnå, ISO 5660 till exempel.

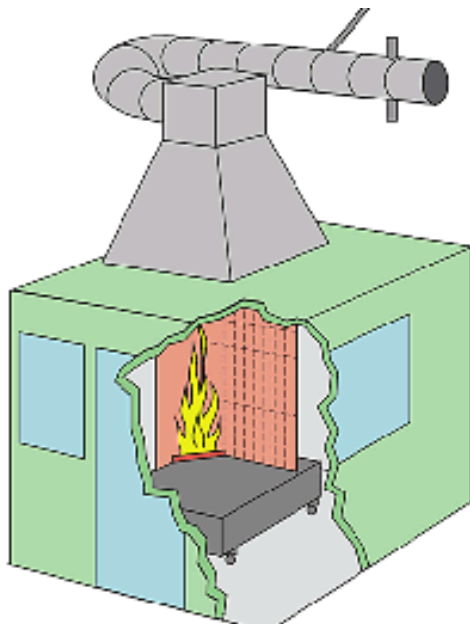
5.2.1 EN 13823 – SBI

Testmetod EN 13823 – Single Burning Item är en metod som i huvudsak används vid provning av byggmaterial och byggprodukter. Främst olika typer av beklädnader som membran, målarfärg och tapeter, dock inte golvbeläggningar.

Denna testmetod används i huvudsak för att bestämma ett materials klass enligt Euroclass A1, A2, B, C eller D.

I EN 13823 – SBI går det att mäta den värmeeffekt (kW) som produkten utvecklar, utvecklad energi (MJ) samt rökutveckling. Det går även visuellt att se och registrera brinnande partiklar och droppar samt flamspridning

För att provet ska ge ett så tillförlitligt resultat som möjligt är det viktigt att materialet monteras på samma sätt vid testet som i verkligheten, det gäller bland annat placering och riktningar på skarvar i materialet. Vid tester av tunnelförslutningar är det även viktigt att ta hänsyn till luftspalten mellan membranet och berget samt tjocklek och sammansättning av betonglagret som sprutas på membranet. Allt för att testet ska vara så likt verkligheten som möjligt.



Figur 5.1 Illustration som beskriver testmetod EN 13823 – SBI. Materialet som testas monteras i ett hörn och utsätts för en brännare under 21 minuter. Bild: SP

Provet utförs i hörnet av ett rum täckt av en huv som suger upp den rök som bildas vid testet, se Figur 5.1. Materialet fästs på väggarna i hörnet så likt en verklig situation som möjligt. I hörnet placeras en brännare som har en effekt på 30 kW. Ett prov tar 21 minuter, parametrar som mäts är värmeeffekt och rökproduktion. SP (2015).

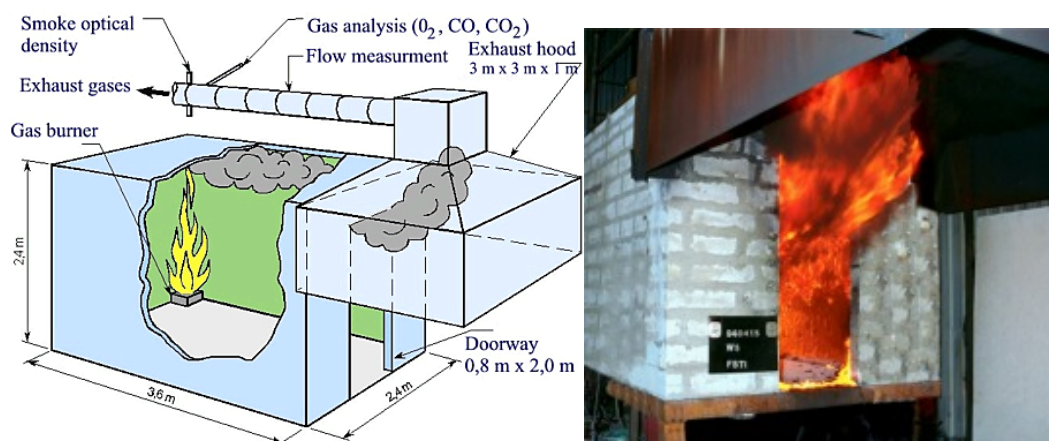
Ett referensscenario till EN 13823 – SBI är testmetoden ISO 9705 – Room corner test, vilket beskrivs i kommande avsnitt 5.2.2.

5.2.2 ISO 9705 – Room Corner Test

ISO 9705 – Room Corner Test är ett brandtest av ytskikt i stor skala. Testet är ett referensscenario till provning enligt Euroklasserna A-E. Testet används även i marina provningar för att ta fram brandbeständiga material till höghastighetsfartyg.

Metoden registrerar brandegenskaper hos ett ytskikt i ett brandscenario i ett rum. Huvudsakligt användningsområde är material och produkter som det är svårt att prova i sin verkliga utformning men i mindre skala. Testet mäter faktorer som värmeeffekt, energiutveckling, rökproduktion och tid övertändning. Brinnande droppar och flamspridning kan kontrolleras visuellt. Finns det behov av att kontrollera toxicitet så finns möjligheten att ansluta en FTIR-gas utrustning. SP (2015).

En fullständig provning kräver minst 35m² material i olika dimensioner som är lämpliga att monteras i provkammaren. Vid provning skall testmaterialet monteras i en provkammare där materialet sätts upp i taket och på alla väggar utom dörrväggen. Ett test pågår under 20 minuter. I ena hörnet placeras en propanbrännare som avger en effekt på 100kW under den första halvan av tiden för att sedan öka till 300kW resterande tid. Gaserna som bildas suges upp i en huv där värmeeffekt och rökproduktion mäts. Flamspridning utmed ytorna registreras visuellt och om flammor slår ut genom dörröppningen så har övertändning skett och då avbryts testet, se Figur 5.2.



Figur 5.2 Testmetod ISO 9705, rökgaserna tas upp och mäts i en huv och vid övertändning slår flammorna ut genom dörröppningen. Bild: SP

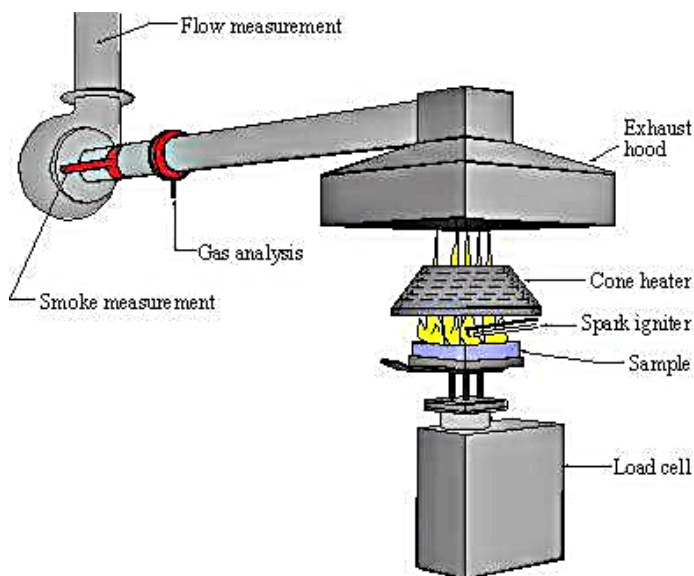
5.2.3 ISO 5660 – Konkallorimeter

ISO 5660 är en testmetod som används för att få fram värden som går att använda vid en brandteknisk simulering av andra mer omfattande brandförloppstester så som ISO 9705 – Room Corner Test och EN 13823 – Single Burning Item, som båda beskriver bränder i mer omfattande form. Genom datasimuleringsverktyget ”Conetools” kan man få en indikation på vilken brandteknisk klass enligt EN13501-1 som materialet bör uppfylla. Det är viktigt att ha i åtanke att detta endast är en indikation och därför kan inte konkallorimetern användas för klassning av en produkt. Det är vanligt att denna metod används i ett produktutvecklingsskede då det är ett relativt billigt sätt att få en bra uppfattning om hur materialet reagerar vid brand, eftersom testet ger svar på många olika parametrar. Detta medför att det är relativt enkelt att se vilka ämnen ett material bör innehålla för att få just de brandegenskaper som eftersträvas.

”Följande parametrar mäts i metoden: antändningsegenskaper, utvecklad värmeeffekt (kW/m^2), mängd utvecklad energi (MJ/m^2), massförlust (g/s), effektivt värmevärde (MJ/kg) och rökproduktion (m^2/s). Vid behov kan även halter av giftiga gaser mätas med hjälp av FTIR analys utrustning.” SP (2015).

Testmetoden ISO 5660 – Konkallorimeter går till som så att en provkropp med dimension 100x100 mm utsätts för en bestämd värmestrålningsnivå. När provkroppen värms upp börjar den avge pyrolysgaser som med hjälp av en gnisttändare antänds. Rökgaserna som bildas då pyrolysgasen brinner samlas upp och förs bort i en huv ovanför provkroppen. För att beräkna värmeeffekten som materialet utvecklar mäts syrgashalten i rökgaserna. Ett lasersystem som är placerat ovanför huvan mäter rökproduktionen genom att skicka laserstrålar genom röken för att se hur mycket av ljuset som kommer igenom röken och på så vis kunna beräkna hur mycket rök som bildas, se Figur 5.3.

Det finns även möjlighet att mäta toxiciteten med hjälp av FTIR-analys som är ett instrument som kopplas till Konkallorimetern vid testet. SP (2015).



Figur 5.3 Illustration som beskriver testmetod ISO 5660. Rökgaserna samlas upp och mäts med hjälp av en fotocell. Bild: SP

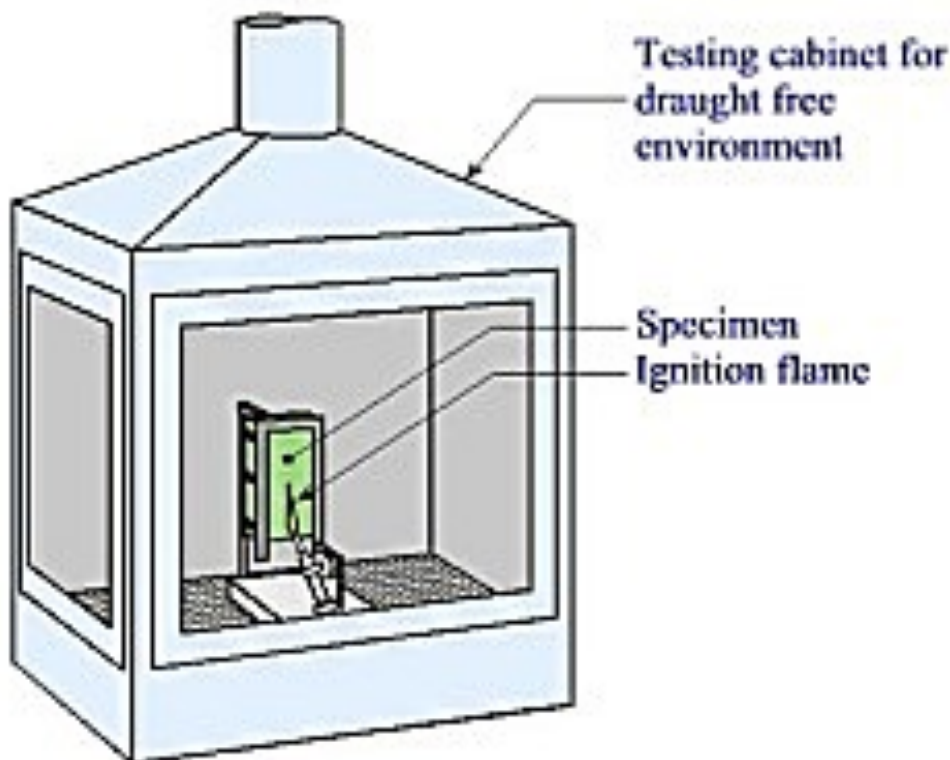
5.2.4 EN ISO 11925-2 – Small flame test

EN ISO 11925-2 är en brandteknisk provning av byggprodukter. Testet undersöker antändlighet vid direkt påverkan av en enkel låga.

Användningsområdet är främst vid klassificering i Euroclass B, Bfl, BL, C, Cfl, D, Dfl, E, Ef och EL enligt det europeiska systemet för Euroklasser. Metoden mäter byggprodukters antändlighet när de utsätts för en liten låga. Alla typer av byggprodukter som inkluderas i EU:s byggproduktdirektiv och omfattas av brandkrav kan testas.

Vid fullständig provning görs 12 försök med 18 st provkroppar och vid ett orienterande försök görs 4 försök med 4 st provkroppar. Hälften monteras i produktionsriktning och hälften i motsatt riktning. Dimension på provbitarna är samma vid både fullständigt och orienterande försök, 90x250 mm.

Provningsen sker i en provkammare där en provkropp monteras vertikalt. Kant- och/eller ytantändning testas med en gaslåga. Faktorer så som antal brinnande droppar, antändningstid samt om flammorna når toppmarkeringen på provkroppen inom en viss föreskriven tid kontrolleras. SP (2015).



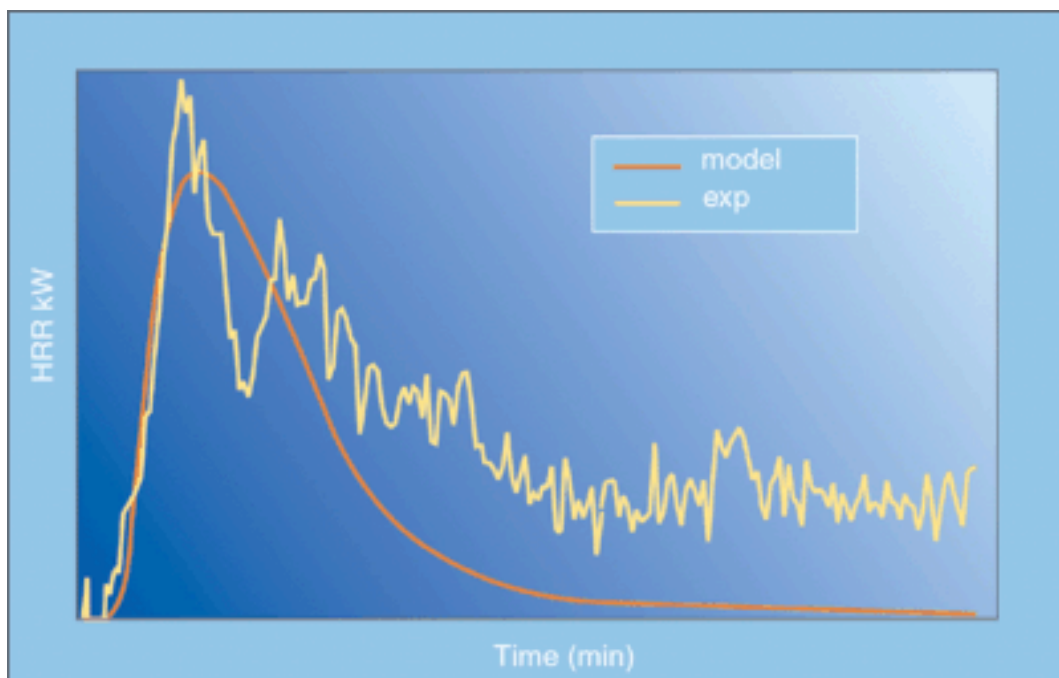
Figur 5.4 Illustration som visar hur ett small flame test går till. Bild: SP

5.3 Datasimuleringsverktyget ConeTools

För att brandklassificera tunnelmembran mot de Europeiska kraven krävs att materialet är testat enligt testmetoderna EN 13823-SBI eller ISO 9705 – Room corner test. SP (2008).

Eftersom detta är två mycket omfattande, tidskrävande och dyra tester, har professorerna Ulf Wickström och Ulf Göransson arbetat fram ett datasimuleringsprogram som heter ConeTools, detta gjordes i samarbete med SP för att möjliggöra brandteknisk simulering av mindre omfattande testmetoder. Programmet är Windowsbaserat och mycket användarvänligt. Simuleringen kan snabbt ge en fingervisning om ett materials brandtekniska egenskaper endast med hjälp av testvärden från Konkalorimetern. Programmet är ej verifierat mot fullskaletester och skall heller inte användas som sådant. Syftet med simuleringen är främst att ge en indikation och fingervisning på ett förväntat fullskaligt resultat. Thuresson (2015)

Det komplexa programmet använder sig av värden på tid till antändning och värmeutvecklings kurvan för att simulera hur materialet hade betett sig vid ett test i EN 13823-SBI. Resultatet redovisas i potentiell brandklass samt en kurva över värmealstringen per effekt över en viss tid, enhet HRR (Heat release rate) per kW, samt sekunder, se Figur 5.5. Detta är något som är mycket användbart vid produktutveckling och kvalitetskontroller av material då det är ett enkelt test till en relativt låg kostnad. Teike (2011).



Figur 5.5 Ett exempel på hur en modellerad kurva ur ConeTools kan se ut. Experimentet sker i labskala och ger en modellerad kurva av ett förväntat fullskaligt test. Bild: SP

6 Brandtester av membran

Brandtester utfördes på SP i Borås i april 2015. Efter diskussion med SP bestämdes det att två olika testmetoder skulle genomföras. Då prioritet låg på att reda ut vilka membran som uppfyller Trafikverkets brandkrav bäst, samt att projektet hade en begränsad budget valdes ISO 5660 – Konkalorimetern samt EN ISO 11925-2 – Small flame test som lämpliga testmetoder för projektet. Alla tester som gjordes är enbart orienterande försök för att se indikationer på olika beteenden, för att brandklassa en produkt krävs det att fullständiga försök utförs, enligt exempelvis EN 13823 eller ISO 9705.

Huvudsyftet är att visa skillnaderna mellan 1,5mm membran från olika tillverkare. Som tilläggsinformation gjordes även tester på Skumtech/GSE 2,0 mm och Oldroyd 1,1mm, med större mängd flamskyddsbehandlat råstoff, omkring 20-30%. Detta för att visa ett eventuellt samband mellan tjocklek och brandegenskaper, samt för att se om ökad mängd flammhämmande medel har inverkan. Testerna utfördes under en dag av studenterna tillsammans med brandtekniska experter från SP.

6.1 Genomförande av EN ISO 11925-2 – Small flame test

Ett small flame test är en provning som numera utförs på alla membran som skall brandklassificeras. Månsson (2015). Dimensionen på provkroppen är 90*250mm. Membranet placeras i en ställning som fästs vertikalt på väggen i ett provskåp. Med hjälp av en tunn metalldistans i form av en sticka justeras tändaren in i rätt läge mot provkroppen. Vid testet görs prover på kant och ytantändning. Ett orienterande prov kräver fyra tester, två för ytantändning och två för kantantändning. Provet går till som så att en låga riktas mot membranet i 15 sekunder, se Figur 6.1. Om membranet fattar eld får flammorna inte överstiga 15 cm inom 20 sekunder för att den skall klara testet och uppfylla brandklass E. För specifikationer över brandklasser, se avsnitt 5.1.1.

För att ett membran skall klara trafikverkets krav så skall provet uppfylla minst brandklass E tillsammans med tilläggskravet på att det skall slockna inom 10 sekunder när lågan tas bort. Tiderna tas manuellt av test-teknikern och antecknas i ett testprotokoll.



Figur 6.1 Provkroppen monteras vertikalt i ett provskåp, sedan tillsätts en liten låga, försök görs både på materialets yta och kant. Bild: K.Andersson

6.2 Testresultat av EN ISO 11925-2

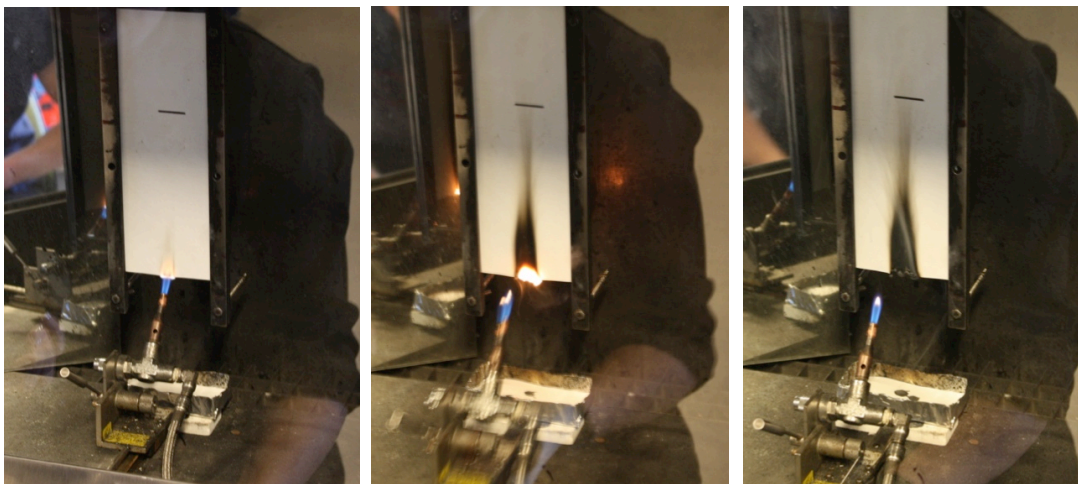
De membran som testades enligt denna standard var Skumtech/GSE 1,5 mm och 2,0 mm, Oldroyd 1,5 mm och 1,1 mm samt Renolit/RKW 1,5mm. D.v.s. alla de olika typer som nämns i avsnitt 4 ovan. Alla membran testades både på kant och ytantändning. För fullständiga testprotokoll, se Bilaga 2.

6.2.1 Skumtech/GSE

Ytantändning: Både 1,5 mm och 2,0 mm membranet började aldrig brinna utan de smälte endast lite precis där lågan varit placerad och klarade där med testet utan problem.

Kantantändning: 1,5 mm membranet fattade eld efter 10 sekunder och slocknade av sig självt sex sekunder efter det att lågan togs bort från membranet. Lågorna mätte ungefär 6 cm. Därmed klarade membranet både brandklass E samt trafikverkets tilläggskrav på en efterbrinntid på max 10 sekunder, se Figur 6.2. Inga brinnande droppar förekom under testet.

2,0 mm membranet fattade eld efter 10 sekunder och lågorna mätte ungefär 9 cm. Dock så slocknade membranet aldrig utan det fortsatte brinna långt efter lågan plockades bort. Membranet uppfyllde alltså brandklass E men inte tilläggskravet på efterbrinntid. Brinnande droppar bildades.



Figur 6.2 Brandförloppet av Skumtech/GSE 1,5 mm i smal flame testet.
1. Membranet utsätts för en låga i 15 sekunder. 2. Lågan tas bort. 3. Membranet självslocknar efter 6 sekunder. Lågorna nådde aldrig upp till markeringen på 15 cm och membranet slocknade inom 10 sekunder, alltså ett helt godkänt testresultat. Bild: K.Andersson

6.2.2 Oldroyd

Ytantändning: Både 1,1 mm och 1,5 mm klarade ytantändningen utan problem. Det enda som hände var lite smältning.

Kantantändning: 1,1 mm membranet fattade eld efter 4 sekunder och brann sedan tills teknikern släckte manuellt. Lågorna var lägre än 15 cm inom 20 sekunder så brandklass E uppnåddes, dock inte tilläggskravet på max 10 sekunders efterbrinntid. Brinnande droppar förekom.

Multisafe 1500R 1,5 mm började brinna vid 4 sekunder, Lågorna nådde ej markeringen på 15 cm inom tiden. Resultatet blev alltså brandklass E. Brinnande droppar förekom under testet. Efterbrinntiden var mer än 10 sekunder och membranet fick släckas av teknikern, alltså klarade inte heller detta trafikverkets tilläggskrav.

6.2.3 Renolit/RKW

Ytantändning: Membranet började aldrig brinna utan smälte endast lite precis där lågan varit placerad och klarade där med ytantändningskraven utan problem.

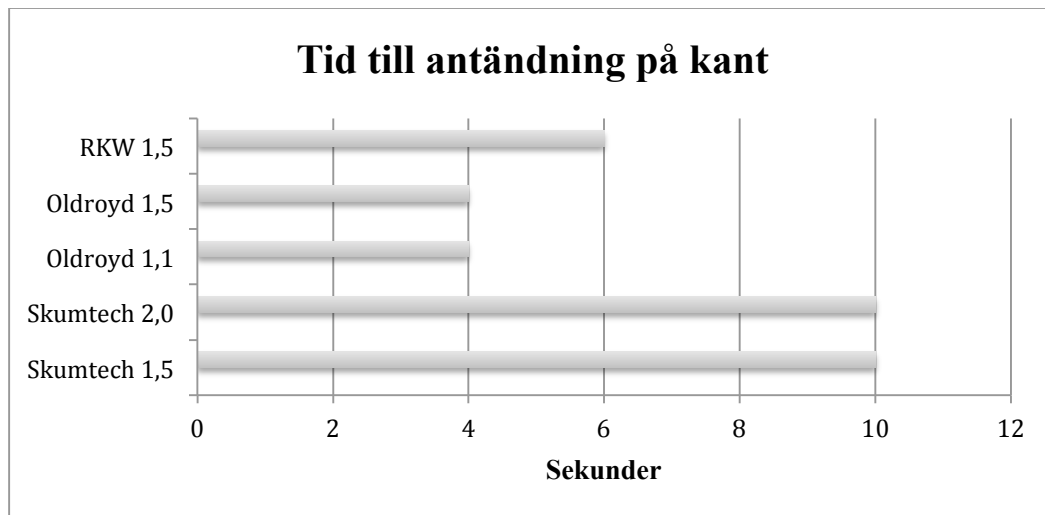
Kantantändning: Membranet fattade eld efter 6 sekunder och brann sedan tills teknikern släckte manuellt. Lågorna nådde aldrig 15 cm inom tiden och därmed klarade membranet brandklass E. Dock slocknade det ej inom 10 sekunder efter att lågan plockats bort, alltså klarade det inte tilläggskravet. Brinnande droppar förekom.

6.2.4 Sammanfattning av EN 11925-2 – Smal flame test

Alla membran som testades klarade ytantändningen utan problem. Lågan kom aldrig in i membranen genom ytan under föreskriven tid och därför var det heller inget membran som började brinna under detta försök.

Det kritiska momentet var kantantändningen, här började alla brinna inom 10 sekunder och alla utom ett brann tills de släcktes manuellt. Det membran som klarade att slockna av sig självt var Skumtech/GSE 1,5 mm. Detta membran var alltså det enda som klarade både brandklass E samt trafikverkets tilläggskrav på efterbrinntid. I övrigt klarade alla membran att nå upp till brandklass E eftersom lågorna på alla var mindre än 15 cm under de första 20 sekunderna.

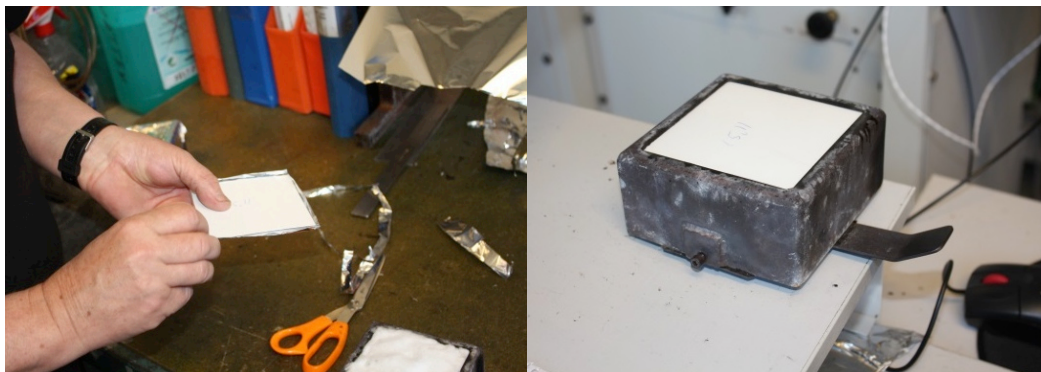
Det går att konstatera ett samband mellan en tillverkares platsammansättning och antändningstid. Membran som kom från samma tillverkare antändes lika snabbt, oavsett tjocklek. Tjockleken har alltså ingen inverkan antändningsegenskaperna enligt detta resultat, se Figur 6.3.



Figur 6.3 Diagram över tid till antändning på kant. Membran från samma tillverkare antändes lika snabbt, oavsett tjocklek.

6.3 Genomförande av ISO 5660 – Konkallorimeter

Alla provstycken av material som skall testas förvaras i ett särskilt rum där luftfuktigheten är 15% Rh. Detta är en relativ torr luft i jämförelse med luftfuktigheten i ett normalt rum då den vanligtvis ligger omkring 30-40% Rh. Provbitarna som skall testas klipps till i dimensionen 100x100mm och vägs därefter för att få en exakt startvikt. Vikten antecknas i datorn för att möjliggöra beräkning av den massförlust som sker vid förbränningen. Provbitens undersida täcks av en 40 μ m tjock aluminiumfolie innan den placeras i en provbits-hållare av metall, se Figur 6.4

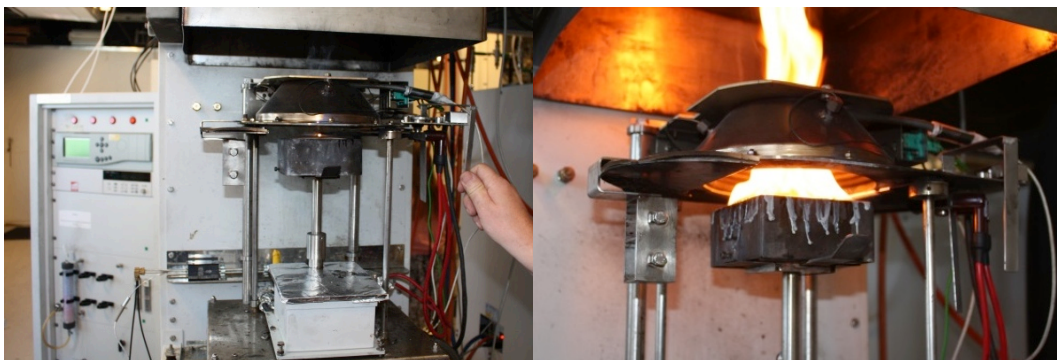


Figur 6.4 Provkroppen förbereds inför testet. Bild: K. Andersson

Konkallorimetern värms upp en stund innan för att den skall hålla en konstant temperatur då testet genomförs. För att kalibrera instrumentet till ett ”noll-värde” och stabilisera den digitala kurvan, används en speciell provbits-hållare klädd med aluminiumfolie. Denna hållaren står under brännaren i 60 sekunder för att säkerställa ett stabilt startvärde. När kurvan är stabil tas hållaren med folien ut och hållaren med provbiten sätts in. Tiden startas när provbiten är på plats och gnistan startar, sedan tas mellantider vid antändning och när lågan slocknar. Efter att lågan har slocknat får provet stå kvar i 150 sekunder för att kurvan ska stabilisera sig och gå ner till noll precis som innan testet.

För att mäta hur stor del av materialet som förbränns så vägs provbiten under hela försöket. Vid kraftig brand finns det risk för att membranet kokar, vilket medför att materialet rinner över kanten på hållaren och droppar ned från vågen, se Figur 6.5. Dropparna som faller av vågen samlas upp och vägs i efterhand för att det ska gå att korrigera den kvarvarande vikten av provkroppen och således beräkna massavgivelsen.

Alla tester genomförs i dubbelförsök, alltså minst två olika försök per membran. Ju fler försök som görs på varje membran desto mer exakta testvärden fås när medelvärdet för alla provresultat sammanställs.



Figur 6.5 Först antänds provkroppen med en gnista, när membranet börjat brinna ser man hur plastmassa från ett membran rinner och droppar ner utmed sidorna på hållaren. Bild: D.Ombert

För att få en uppfattning om hur membranet hade klarat sig i ett fullskaligt test som EN 13823 – SBI förs alla värden från konkalorimetern in i datorprogrammet ConeTools. Programmet gör en simulering av värdena från konkalorimetern och redovisar sedan potentiell brandklass tillsammans med en kurva över värmealstringen per effekt över en tid. Resultatet från ConeTools är inte helt tillförlitligt men det ger ändå en fingervisning om materialets egenskaper. Thuresson (2015)

6.4 Testresultat av ISO 5660

I denna provningsstandard testades Skumtech/GSE 1,5 mm och 2,0 mm, Oldroyd flamskyddsbehandlat 20-30% 1,1 mm, samt Renolit/RKW 1,5mm. Alla värden som anges är medelvärden av dubbelförsök. För fullständiga testprotokoll samt ConeTools beräkningar se Bilaga 3.

6.4.1 Skumtech/GSE

1,5 mm membranet antändes efter 67 sekunder och maximal utvecklad värmeeffekt under försöket uppgick till 547 kW/m^2 , tid till lågor slocknat blev 8 min och 48 sek. Total utvecklad mängd rök blev $891 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Okulärt gick det att konstatera att membranet brann lugnt under en lång tid. Materialet som brann hade samma konsistens som stearinet i ett värmeljus, när värmeeffekten var som störst rann en del av den flytande massan av från provstativet vilket lede till att den massan aldrig antändes. Simuleringen i ConeTools visade att membranet borde hamna i brandklass D i ett fullskaligt test.

2,0 mm membranet antändes efter 58 sekunder d.v.s. lite snabbare än det tunnare membranet, maximal utvecklad värmeeffekt under försöket uppgick till 1001 kW/m^2 , också här blev det ett högre/sämre värde med det tjockare membranet. Tid till lågorna slocknat blev 6 min och 51 sekunder. Total utvecklad mängd rök var $596 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Simuleringen i ConeTools visade att 2,0 mm membranet borde hamna i brandklass E.

Värdena visar att det tjockare membranet på 2,0 mm brann kraftigare och snabbare än det tunnare 1,5 mm membranet. Det var även något som gick att se under testet, volymen massa som rann av från provstativet var större hos detta membran. Båda membranerna är uppbyggda på samma sätt av samma material.

6.4.2 Oldroyd

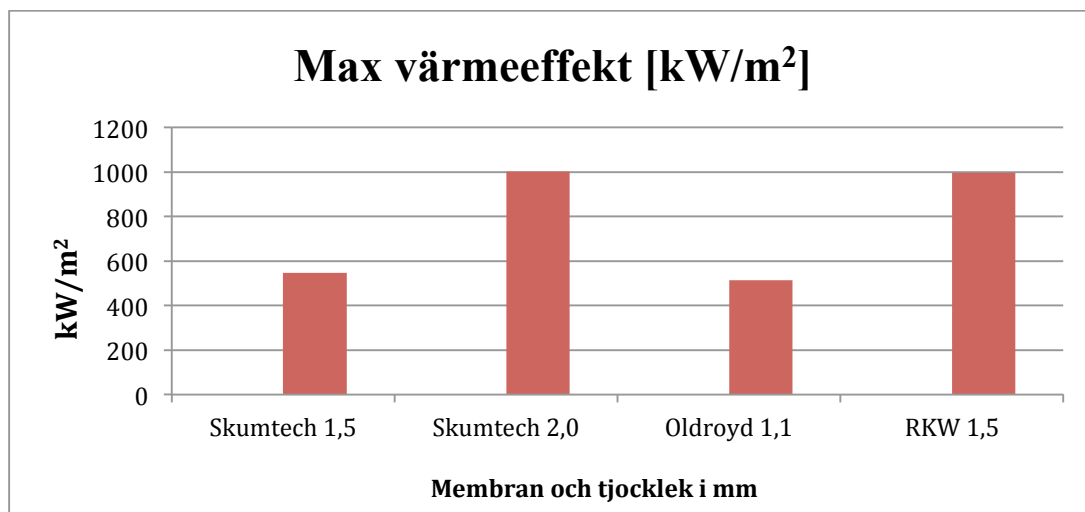
Oldroyd 1.1 mm med 20-30% flamskyddsmedel antändes efter 27 sekunder, maximal utvecklade värmeeffekt blev 513 kW/m² och tid till lågor slocknat uppgick till 4 min och 35 sek. Total utvecklade mängd rök blev 490 m²/m². Membranet fattade eld tidigt och brann sedan upp fort. Simuleringen i ConeTools visade att membranet borde hamna i brandklass E.

6.4.3 Renolit/RKW

Renolit/RKW 1,5 mm antändes efter 39 sekunder och maximal utvecklade värmeeffekt uppgick till 997 kW/m². Tid till lågor slocknat blev 8 min och 43 sek och total utvecklade mängd rök blev 437 m²/m².

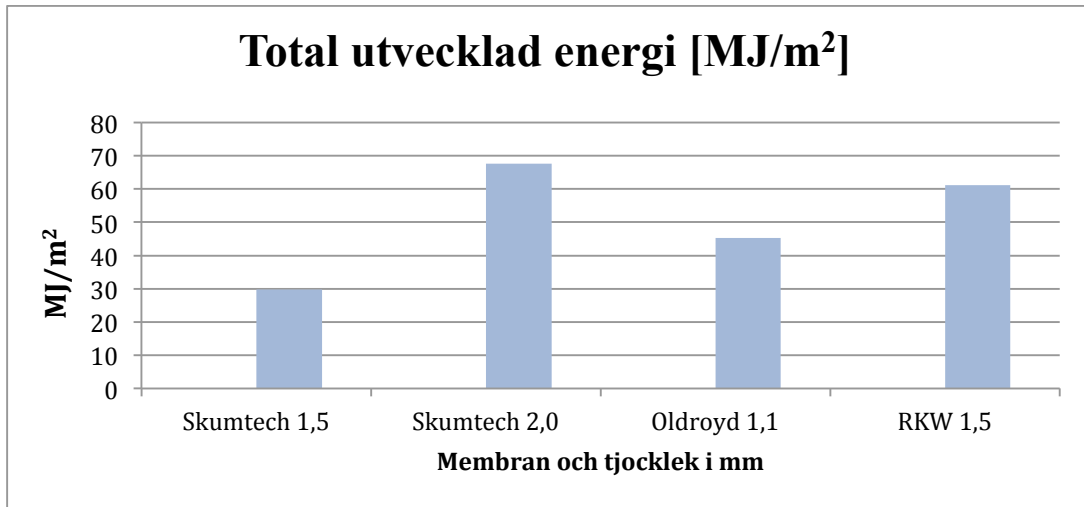
Okulärt gick det att konstatera att membranet brann kraftigt under lång tid. Membranet smälte och började koka av värmen, materialet fick en flytande konsistens och det mesta förbrändes/ångades bort. Membranet slocknade när det mesta materialet hade förbränts, enda restprodukten som fanns kvar var aska. Simuleringen i ConeTools visade att membranet borde hamna i brandklass E i ett fullskaligt test.

6.4.4 Värmeeffekt



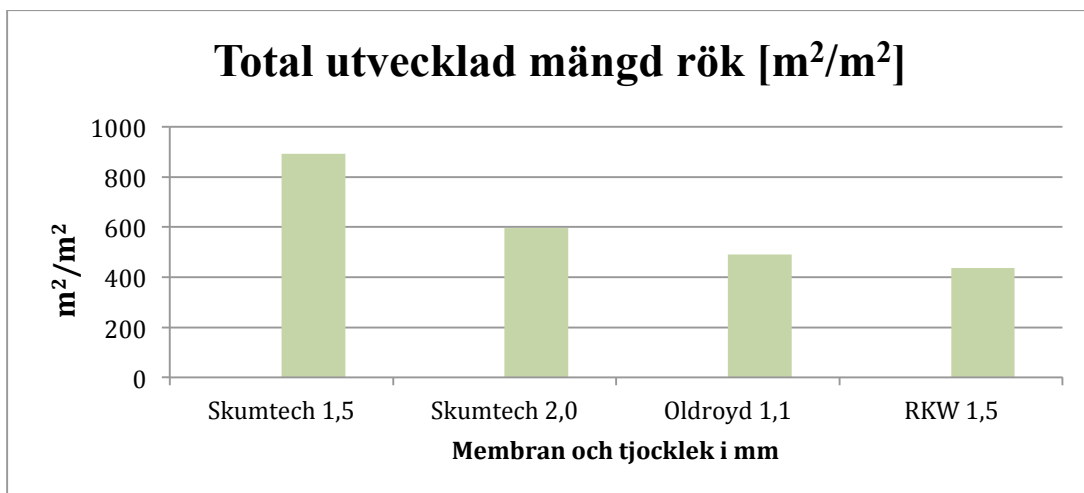
Figur 6.5 Värmeeffekten som utvecklas från ett membran är en viktig faktor att undersöka under ett brandtest. Det är egentligen detta som säger hur kraftigt ett material brinner. Ett lågt värde är givetvis att föredra. Som diagrammet visar avger Skumtechs tjockare membran på 2,0 mm tillsammans med RKWs 1,5mm membran absolut högst effekt av de fyra testade membran.

6.4.5 Utvecklad energi



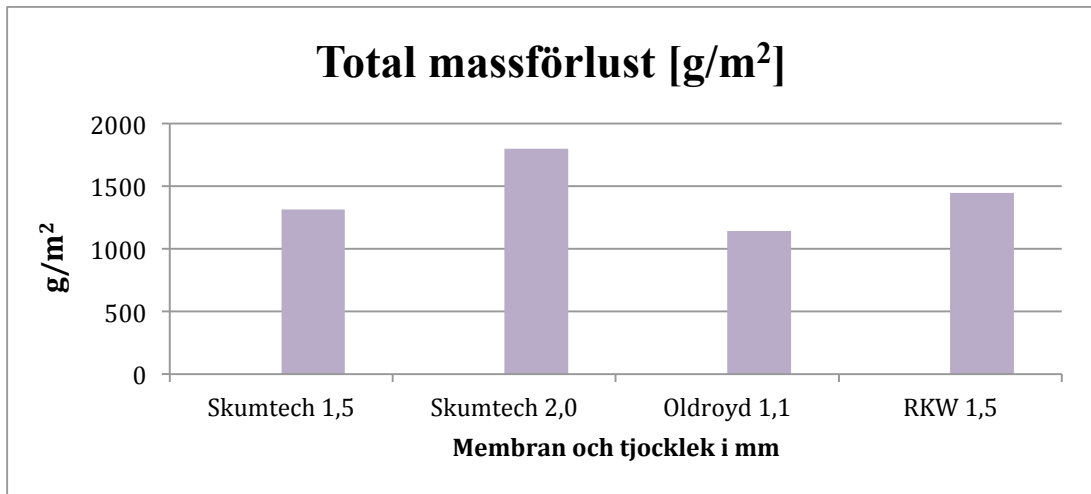
Figur 6.6 Utvecklad energi är ett mått på hur mycket energi ett material avger under brand, indirekt är detta också ett mått på hur mycket energi ett material innehåller. Generellt sett så fungerar det som så att ju mer energi ett material innehåller desto mer energi kan en eventuell brand använda sig av för att växa. Även här utmärkte sig Skumtech 2,0 mm och RKW 1,5 mm med högre värden.

6.4.6 Utvecklad mängd rök



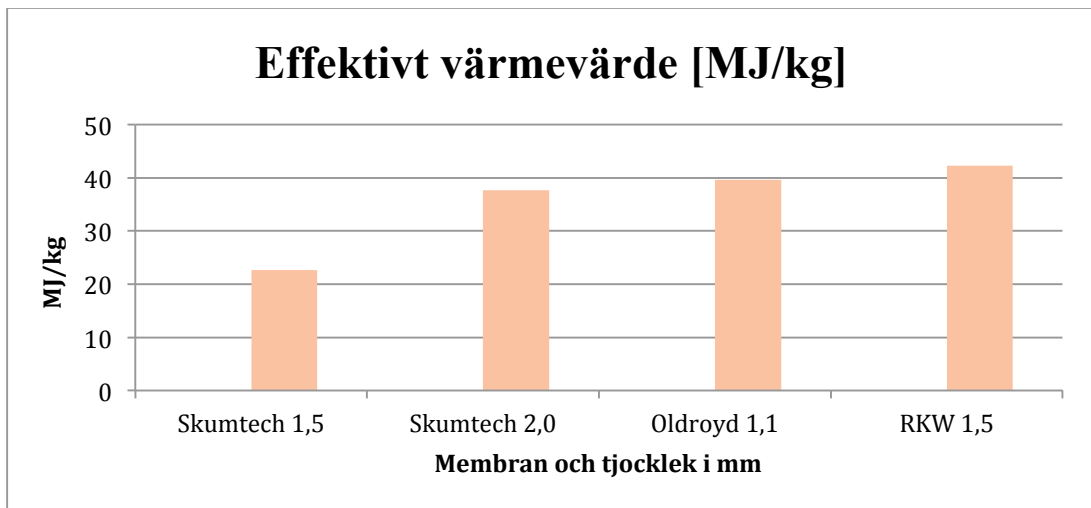
Figur 6.7 Hur mycket rök ett membran bildar under en brand beror på hur "bra" ett membran förbränns. En sämre förbränningsprocess ger mycket rök medan ett membran som har hög förbränning avger mindre rök. Det optimala är ett lågt värde av båda och att uppnå det är en utmaning vid tillverkning av membran. Diagrammet visar att Skumtech 1,5 mm avger mest rök av de fyra testade membranerna. Det är alltså detta membran som har sämst förbränning och det visar även föregående diagram över värmeeffekt och energi där membranet visade låga/bra resultat.

6.4.7 Massförlust



Figur 6.8 Massförlusten är ett mått på hur mycket massa som försvinner under förbränningen. Mest massa tappade Skumtech 2,0 mm med hela 1,8 kg per kvadratmeter. Detta beror till stor del på att membranet är tjockare än de andra och väger därför mer per kvadratmeter från början. Om man jämför Skumtech 1,5 mm med RKW 1,5 mm så är det väldigt liten skillnad mellan dessa.

6.4.8 Effektivt värmevärde



Figur 6.9 Det effektiva värmevärdet anger hur mycket energi som utvecklas vid förbränning i relation till viss mängd bränsle. Dessa värden går i stort sett hand i hand med värdena över totalt utvecklad energi. Vid jämförelse av staplarna i de båda diagrammen kan man se att Oldroyd 1,1 mm inte stämmer överens mellan diagrammen på samma sätt som de andra membranerna gör. En förklaring till detta är att det är ett tunnare membran med mindre massa som bränsle, därför blir den totalt utvecklade energin i MJ/m^2 lägre eftersom det är mindre massa och således också mindre bränsle per m^2 . Det effektiva värmevärdet med enhet MJ/kg ger därför ett mer nyanserat resultat över energiutveckling.

7 Slutsats och diskussion

I följande kapitel redogörs och diskuteras de slutsatser som vi kunnat dra från de försöksresultaten som erhållits från brandtesterna. Slutsatserna grundar sig även i de studiebesök som har genomförts. Under arbetets gång har vi lärt oss mycket om byggnadsmetoden där man förhindrar vatten från att komma in i trafikutrymmet i en tunnel med hjälp av membran. Samtidigt har vi fått en bra och grundläggande inblick i hur man brandklassar ett byggnadsmaterial, hur brandtester går till och hur man på bästa sätt kan analysera olika mätvärden för att få fram en relevant jämförelse.

7.1 Krav

Vi förstod ganska snabbt i den inledande fasen av examensarbetet att det rådde en hel del oklarheter i branschen över vad som faktiskt krävs av ett tunnelmembran för att vara helt godkänt för montering i en tunnel i Sverige. De äldre brandkraven som fanns var enligt många orimligt svåra och rent av omöjliga att helt och hållet uppfylla tillsammans med de mekaniska krav som samtidigt ställs på ett membran som skall täckas med sprutbetong. Trafikverkets äldre krav var att ett membran skulle uppfylla följande minimikrav enligt den både kostsamma och omfattande testmetoden ISO 9705:

- Tid till övertändning, 20 minuter
- Genomsnittlig maximal värmeavgång under 30 sekunder, 300 kW
- Genomsnittlig maximal värmeavgång från produkten, 50kW
- Genomsnittlig maximal rökproduktion under 60 sekunder, 2,3 m²/s
- Genomsnittlig rökproduktion, 0,7 m²/s”

Det var det få eller inga membran alls som gjorde, ändå monterades det tunnelmembran i svenska tunnlar. Projekt kunde av olika anledningar få dispens av Trafikverket att använda sig av ett membran som inte uppfyllde kraven. Enligt oss så känns det lite konstigt att ha ett krav som ändå inte egentligen är ett krav utan mer som en rekommendation. Detta tror vi också var en av anledningarna till att Trafikverket tidigt 2015 i samband med det omfattande projektet ”Förbifart Stockholm” kom med ett ändrings-pm med reviderade krav på tunnelmembran som lyder enligt följande:

”Membranet skall vara brandbeständigt eller inneha självsläckande egenskaper, med syfte att förhindra fortskridande brand. Detta krav gäller allt membran innanför inklädnadsvalv, i utrymningsvägar, i ledningskulvert och i övriga teknikutrymmen. Kravet anses uppfyllt via något av följande kriterier:

- Membranet ska utföras i minst brandteknisk klass D-s2,d1 i enlighet med klassifikationsstandard EN13501-1. Tillämpliga provningsstandarder är EN 13823 och EN ISO 11925-2.
- Membranet ska utföras i minst brandteknisk klass E i enlighet med klassifikationsstandard EN13501-1. Följande tillägg ska uppfyllas: efterbrinntiden efter det att tändkällan avlägsnats ska för varje delförsök vara maximalt 10 sekunder.”

Efter revideringen är vår uppfattning att personer i branschen generellt blivit mer positiva till brandkraven. Det är nu helt klart rimligare krav och vår uppfattning är att det nu finns större möjlighet att fler membran i framtiden kommer att klara kraven även om det till största delen är upp till de tillverkare som är verksamma i området att arbeta med sin produktutveckling. Det handlar ju självklart inte bara om att sänka kraven till alla blir godkända, det hade varit en väldigt enkel lösning på ett betydligt mer komplicerat problem, utan det är snarare så att man har sett över formuleringen och lagt det hela på en rimligare nivå som tillverkarna nu kan sträva efter och arbeta mot.

Huvudsyftet är ändå att öka personsäkerheten vid brand i tunneln och för att nå ett så bra helhetsresultat som möjligt finns det givetvis också andra faktorer att arbeta med såsom sprinklersystem, fler utrymningsvägar och försiktighet vid produktionen, till exempel.

Vad kan man då dra för slutsatser av de testresultat som examensarbetets orienterande tester har visat? Nedan följer de olika faktorer som vi har upptäckt påverkar ett membran mest ur ett brandtekniskt perspektiv.

7.2 Tjocklek

Om man börjar med att jämföra de mekaniska egenskaper som de tre olika 1,5 mm membranerna har enligt Tabell 4.1, kan man snabbt se att det inte skiljer särskilt mycket i värden på exempelvis densitet, brottspänning, brottförlängning eller rivhållfasthet, de är i stort sett likvärdiga. Om man däremot jämför ett tjockare membran som Skumtechs 2,0 mm membran enligt produktdatabladen i Bilaga 1 så ser man att de mekaniska egenskaperna blir bättre om membranet ökar i tjocklek. På samma sätt blir de mekaniska egenskaperna också sämre hos ett tunnare membran. Det man kan konstatera är alltså att ur ett konstruktionstekniskt perspektiv där man vill ha ett starkt och tåligt membran mot mekanisk åverkan så har tjockleken en betydande inverkan där ett tjockare membran också är starkare och tåligare.

Hur påverkar då tjockleken brännbarheten? Enligt de brandtester som utförts kan det konstateras att ett tjockare membran helt klart brinner mer och kraftigare än ett tunnare. Det av den enkla anledningen att det i ett tjockare membran finns mer massa med lagrad energi i som kan verka som bränsle i en förbränningsprocess. Ur ett brandtekniskt perspektiv är ett tunnare membran alltså att föredra. Dock har vi sett att faktorer som exempelvis tid till antändning inte påverkas av tjockleken utan snarare är mer beroende av plastmaterialets sammansättning. Detta kan enkelt ses i diagrammet i avsnitt 6.2.4. Ett tjockare membran börjar alltså inte brinna lättare eller snabbare än ett tunnare, när det dock har börjat brinna så utvecklas mer effekt och energi, det blir således en kraftigare brand.

7.3 Flamskyddsmedel i membran

Membranen som har testas innehåller generellt endast en väldigt liten, om någon mängd flamskyddsmedel, omkring någon procent eller inget alls. Detta beror till stor del på att flamskyddsmedel ”kostar mer än vad det ger”. Med detta menar vi inte ekonomiskt utan andra viktiga egenskaper hos ett membran. Ett membran med mycket flamskyddsmedel i tappar nämligen sin styrka och hållfasthet.

Membranet blir väldigt mjukt och lättarbetat men samtidigt tål det mycket mindre än ett membran utan flamskyddsmedel. Detta alternativ går därmed bort hos tillverkarna då det inte spelar någon roll om det inte brinner så länge man ändå inte kan montera det och lägga sprutbetong på ytan utan att det brister. Hela syftet med tätningmembran skulle i så fall vara förverkat. Tillverkare av tunnelmembran jobbar dock mycket med att prova sig fram med olika mängd flammhämmande medel i sina membran för att se om det går att finna en lagom kombination som kan minska brännbarheten utan att försämra de mekaniska egenskaperna allt för mycket.

Oldroyds 1,1 mm membran som var med i testet är ett sådant membran. Det är fortfarande under utveckling och innehåller omkring 20-30% flammhämmande medel. Det vi kunde se i brandtesterna var att det inte utmärkte sig särskilt mycket för att det innehöll mer flamskyddsmedel, om det utmärkte sig på något sätt så berodde det snarare på att det är ett tunnare membran med mindre massa.

Ytterligare ett fenomen som flamskyddsmedel kan bidra till är en eventuell ökad rökutveckling. Flamskyddsmedlet fungerar som så att det "bromsar" branden och minskar förbränningsförmågan men skapar generellt sett ett beteende i form av ökad rökproduktion istället. Detta är något som diskuteras vidare i följande avsnitt 7.4.

7.4 Samband mellan förbränning och rökutveckling

Enligt de stapeldiagram baserade på resultat från testmetod ISO 5660 som redovisas under avsnitt 6.4 går det se ett tydligt samband mellan förbränning och rökutveckling. Studerar man exempelvis Skumtech 1,5 mm ser man att det är ett membran som har förhållandevis lågt/bra värde på faktorer som värmeeffekt, utvecklad energi och effektivt värmevärde, men det är också det membran som har högst/sämst värde på utvecklad mängd rök. Detta samband kan man också se om man i samma diagram istället tittar på RKW 1,5 mm som tvärtom har högre/sämlre värden på värmeeffekt, energi och effektivt värmevärde men absolut lägst/bäst värde med avseende på utvecklad mängd rök. Skillnaden som ligger till grund för dessa membraners olika beteenden är troligtvis att Skumtech 1,5 mm är ett flamskyddsbehandlat membran till skillnad från RKW 1,5 mm.

Det finns alltså ett samband mellan ett materials förmåga att brinna och dess rökutveckling. Det beror i stort sett på att om ett membran har en effektiv förbränning d.v.s. att det brinner bra och mycket, då blir det färre restprodukter kvar i form av rök. Är förbränningen ofullständig så blir det dock en hel del partiklar kvar. Brandrök består huvudsakligen av koldioxid, vatten och partiklar/kolrester/sot, där det är partiklarna som är den synliga röken.

Detta är givetvis en intressant fråga att diskutera ur ett tunnelsäkerhetsperspektiv. Vad är egentligen att föredra? En stor brand är förstås aldrig bra men det är inte en kraftig rökutveckling i en tunnel heller. Ser man på tunneln ur ett konstruktionstekniskt perspektiv kan man tänka sig att det är det sämlre med en kraftig förbränning där mycket av membranet förbränns under kort tid men om man istället tänker på den personliga säkerheten för människor i tunneln så är troligtvis en kraftig rök som snabbt sprider sig ett större problem i en ev. tunnelutrymning. Självklart skulle man i de bästa av världar inte vilja ha något av detta. Det är en stor utmaning för de personer som utvecklar och tillverkar tunnelmembran att försöka uppnå.

7.5 Sammanfattning av slutsats

Det finns många olika egenskaper hos ett tunnelmembran som skulle påverka utgången i en brandsituation. Det går att konstatera att faktorer såsom tjocklek, plastens sammansättning och eventuellt innehåll av flamhämmande medel har stor inverkan, både på brännbarhet, rökutveckling och på de mekaniska egenskaper membranerna förväntas ha.

Återkommande dilemman i tillverkningsprocessen är den avvägning som ständigt måste göras. Som tillverkare kan man ställa sig frågan, vilka egenskaper är viktigast att uppnå? Vill man ha ett starkt membran som tål hårda påfrestningar då kanske man blir tvungen att gå upp i tjocklek men då skall det finnas en medvetenhet om att det troligen kommer brinna kraftigare än ett tunnare. Är istället det viktigaste att membranet inte skall brinna alls, ja då skulle det gå att tillsätta 100 % flamhämmande material men då är det uteslutet att spruta betong på det eftersom det skulle bli så svagt att håll och revor skulle uppstå direkt.

Tillverkarna måste alltså hela tiden göra avvägningar och sträva efter att hitta en perfekt kombination av dessa faktorer. Lyckas man med det, vilket vi efter examensarbetets olika brandtester och studiebesök tror att man kommer göra, ja då kommer det inom en snar framtid finnas produkter som både uppfyller kraven på absolut täthet, styrka samt brännbarhet.

För att återknyta till ett av examensarbetets huvudsakliga syfte att utreda vilket eller vilka membran som i dagsläget står sig bäst mot Trafikverkets reviderade krav, så var det egentligen bara ett membran som visade indikationer och potential på att klara kraven för tillfället. Skumtech Ultraflex 1,5 mm visade en indikation på brandklass D i datasimuleringsverktyget ConeTools. Membranet var även det enda som lyckades självslockna inom 10 sekunder i Small flame testet, dess stora nackdel är dock den kraftiga rökutvecklingen membranet gav upphov till. Eftersträvar man istället ett membran som är mer ”lagom” i alla avseenden såsom förbränning och rök är Oldroyd Multisafe att föredra, detta membran uppfyller dock inte Trafikverkets reviderade krav i dagsläget. Viktigt att återigen belysa är att de försök och tester som utförts i detta examensarbete endast är orienterande försök för att visa indikationer på bra och dåliga egenskaper hos membran, resultaten kan alltså inte användas för klassning av en produkt på något sätt.

8 Referenser

- BaTMan (2011). *BaTMan handboken mätmetod 201*. Tillgänglig på:
<https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/matmetod201.aspx> 2015-03-12
- Dahlström (2015). Lars-olof Dahlström, *Adjungerad Professor, Bygg- och miljöteknik, avd. Geologi och geoteknik, Chalmers*. Göteborg 2015-01-21
- Johansson (2015). Björn Johansson, *Skanska region stora projekt*. Studiebesök tunnelbyggnation E6, Tanumshede 2015-01-21
- Kemikalieinspektionen (2008). *Carbon Black – Teknisk beskrivning av ämnet*. Margareta Östman. Tillgänglig på:
http://apps.kemi.se/flodessok/floden/kemamne/carbon_black.htm 2015-05-07
- Molund (2015). Raymond Molund, *Sälj- och marknadschef Oldroyd AS*. Studiebesök Oldroyd membranfabrik, Sannidal, Norge 2015-05-13
- MSB (2011). Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. *Ökad säkerhet vid tunnelbyggnation*, Publikationsnummer MSB296. Haukur Ingason, SP, Borås.
- Månsson (2015). Brith Månsson, *Tekniker SP*. Brandtester, Borås 2015-04-22
- Nyteknik (2013). *Nya supersystemet som skall skydda bilisterna*. Charlotta von Schultz. Tillgänglig på:
http://www.nyteknik.se/nyheter/innovation/forskning_utveckling/article3785701.ece 2015-04-01
- SIS (2009). Swedish Standard Institute. SS EN13501-1. *Brandteknisk klassificering av byggprodukter och byggnadselement – Del 1*, Stockholm.
- SP (2008). *Conetools – Your tool for predicting SBI and Room Corner tests*. Maria Hjöhlman, SP info 2008:32, Borås.
- SP (2009). *Funktionsbaserad design för tunnlar med avseende på säkerhet – Förstudie*, SP rapport 2009:51, Borås.
- SP (2011). Brandforsk. *Automatiska sprinkler i tunnlar*, Haukur Ingasson. SP report 2011:31, Borås.
- SP (2015). *Byggprodukters brandtekniska egenskaper*. Tillgänglig på:
http://www.sp.se/sv/index/services/firetest_building/firetest_bu%c3%adlding/Sidor/default.aspx 2015-04-16
- Teike (2011). *Improved Version of Cone Tools for Predictions of Room Corner Tests*. Jon Moln Teike, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Luleå.

Thuresson (2015). Per Thuresson, *Expert på brandprovning av material*, SP. Brandtester, Borås 2015-04-22

Trafikverket (2011). TRVK Tunnel 11, *Trafikverkets tekniska krav Tunnel*, publ.nr 2011:087, Borlänge.

Trafikverket (2015). *Skötsel av tunnlar*. Tillgänglig på:
<http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sa-skoter-vi-broar-och-tunnlar/Skotsel-av-tunnlar/> 2015-03-10

Trafikverket (2015). Mailkontakt ang. brandkravformulering via. Joakim Sköld, Skanska. 2015-02-27

Transportstyrelsen (2012). *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar*. TSFS 2012:XX. Utgivare: Kristina Nilsson, Norrköping.

Bilaga 1 – Produktdatablad membran



GSE Ultraflex (VFPE) - Product Data Sheet (available from 0.5 – 2.5 mm)

GSE Ultraflex is a black, high quality, linear low density polyethylene (LLDPE) geomembrane produced from specially formulated, virgin polyethylene resin with outstanding flexibility. The polyethylene resin is designed specifically for flexible geomembrane applications. Its high uniaxial and multiaxial elongation characteristics make it very suitable for applications where differential or localized subgrade settlements are expected such as landfill closure cappings, leach pads, or any application where elongation or puncture resistance is critical. **GSE Ultraflex** contains approximately 97.5% polyethylene, 2.5% carbon black, trace amounts of antioxidants and heat stabilizers, and is suitable for exposed applications. These product specifications meet or exceed GRI-GM 17.

Tested Property	Unit	Test Method	Values (*)			
Thickness (a)	mm	DIN EN ISO 2286-3	1.0	1.5	2.0	2.5
Density	g/cm ³	DIN ISO 1183-1/A	≤ 0.939	≤ 0.939	≤ 0.939	≤ 0.939
Tensile Properties (each Direction)		DIN EN ISO 527-3 (Type 5; 100 mm/min; lo = 50 mm)				
Stress at Break	MPa		33 (26)	33 (26)	33 (26)	33 (26)
Elongation at Break	%		900 (750)	900 (750)	900 (750)	900 (750)
Tear Resistance	N	DIN ISO 34-1/B(a)	115 (110)	175 (165)	230 (220)	285 (275)
Puncture Resistance	N	ASTM D 4833	320 (250)	430 (370)	550 (500)	660 (620)
Carbon Black Content	%	ASTM D 1603	2.0 – 3.0	2.0 – 3.0	2.0 – 3.0	2.0 – 3.0
Carbon Black Dispersion	Category	ASTM D 5596	1 / 2 (b)	1 / 2 (b)	1 / 2 (b)	1 / 2 (b)
Dimensional Stability (each Direction)	%	DIN 53377 (100 °C/1h)	± 2	± 2	± 2	± 2
Melt Flow Index (c)	g/10 min	DIN EN ISO 1133 (190 °C / 5.0 kg) (190 °C / 2.16 kg)	≤ 3.0 ≤ 1.0	≤ 3.0 ≤ 1.0	≤ 3.0 ≤ 1.0	≤ 3.0 ≤ 1.0

Reference Property	Unit	Test Method	Values (*)			
Multiaxial Elongation at Break	%	similar to ASTM D 5617 ; Ø = 500 mm	80	80	80	80
Low Temperature Brittleness	°C	ASTM D 746	- 77	- 77	- 77	- 77
Oxidative Induction Time (OIT)	min	ASTM D 3895 (200°C; Pure O ₂ ; 1 atm)	≥ 100	≥ 100	≥ 100	≥ 100
UV Resistance (d) HP-OIT retained after 1,600 hours (e)	%	GRI-GM 11 ASTM D 5885	≥ 35	≥ 35	≥ 35	≥ 35
Roll Width	m	---	7.5			
Surface	---	---	double-sided smooth			

(*): All values - unless otherwise noted - are nominal values. Values in brackets are minimum values within the 95% confidence interval.

- (a): Tolerance ± 5% - Special thickness available upon request.
- (b): Dispersion only applies to near spherical agglomerates. 9 of 10 views shall be category 1 or 2. No more than 1 view from category 3.
- (c): Standard test conditions: 190 °C / 5.0 kg.
- (d): Test-Conditions: 20 hours UV cycle at 75°C followed by 4 hours condensation at 60°C; total: 1,600 hours.
- (e): UV Resistance is based on percent retained value regardless of the original High Pressure - OIT value.



GSE Ultraflex is produced at GSE Reclin plant, Germany.

This information is provided for reference purposes only and is not intended as a warranty or guarantee. GSE assumes no liability in connection with the use of this information. Please check with GSE for current, standard minimum quality assurance procedures. This information is subject to change without prior notice. Please contact GSE for updated information.

European Headquarters
GSE Lining Technology GmbH
 Großmooring 4
 D-21079 Hamburg
 Germany
 Tel.: +49-40-76742-0
 Fax: +49-40-76742-34
 e-mail: europe@gseworld.de

Corporate Headquarters
GSE Lining Technology, Inc.
 19103 Gundle Road
 Houston, Texas 77073
 USA
 Tel: +1-281-443-8564
 Fax: +1-281-875-6010

Other Production facilities & Sales Offices
 United Kingdom
 Spain
 Russia
 Turkey
 Thailand
 Egypt
 Jordan
 Australia



06-05-23-UF-10/25-ISO-E

Visit us at www.gseworld.com
 A Gundle/SLT Environmental, Inc. Company



Oldroyd AS
 Industriveien 1, Kragerø Næringspark,
 NO-3766 Sannidal, Norway
 t : +47 35 98 75 50
 f : +47 35 98 75 51
 w: www.oldroyd.com

Raymond Molund
 Salgs- og markedssjef
 e: raymond@oldroyd.no
 mobile: +47 483 42 558



Preliminary

Technical datasheet

Date: 15.08.2014
 Issue: 01

OLDROYD MultiSafe R1500

Flexible polyethylene membrane for water protection of tunnel cavities

Oldroyd Multisafe R1500 is a non-reinforced flexible membrane for fully welded protection of rock tunnels and -cavities. The membrane is produced in 1.5 mm thick LLDPE.

The membrane is made of three layers by co-extrusion, white colour on the front, grey colour on the back towards the rock, and having a black middle layer that functions as indication of damage in case of such. The white surface is textured for improved adhesion to spray concrete.

Oldroyd Multisafe R1500 is designed for hot-air welding of all joints. It is supplied on rolls, width up to 4.3 m and length up to 70 m on request.

PROPERTIES	Standard	Unit	Value (MDV/MLV)
Roll length		m	≤ 70
Roll width		m	2.0-4.3 ± 0.05
Thickness, sheet		mm	1.50 ± 10 %
Weight per m ²		kg/m ²	≥ 1.4
Weight per roll		kg	< 400
Tensile strength MD/CD, yield	EN ISO 527	MPa	≥ 10
Elongation MD/CD, break	EN ISO 527	%	≥ 800
Tear resistance	EN 12310-1	N	≥ 700
Static puncture test	EN ISO 12236	N	≥ 200
Impact resistance	EN 12691:2006 (B)	mm	≥ 2000
Dimensional stability	EN 1107-2	%	≤ 1.0
Cold bend test	EN 495-5	°C	< - 25
Water tightness	EN 1928	-	Pass
Reaction to fire	EN 13501	Class E*	Pass
Flash point	ASTM D93	°C	>300
Ignition temperature	ASTM D1929	°C	>400
Dangerous substances	REACH	SVHC list	None
Technical lifetime		Years	> 80

*) EN-ISO 11925-2

Other information:

Normal maintenance:

Maintenance-free if installed as fully covering membrane with welded joints in accordance with SVV Handbook 163 ch.8.

Mending of holes:

To be hot welded with PE material by means of hot air, or by extruder welding machine.

Oldroyd AS

Industriveien 1, N-3766 Sannidal, Norway
 Tel.: +47 35987550, Fax: +47 35987551
www.oldroyd.com

DATASHEET

wepelen®


RKW WERRA

Geosynthetic Barrier PE-LLD

Surface: single- and both sides textured (S/T) (T/T)

MATERIAL PROPERTIES			
Property	Unit	Test method	Value
Density	g/cm ³	DIN EN ISO 1183-1	< 0,940
Melt flow range 190/2,16	g/10min	DIN EN ISO 1133	0,20 - 0,70
Carbon black content (TGA)	%	ASTM D 1603	2,0 - 3,0
Carbon black dispersion	-	ASTM D 5596	Categorie 1 - 2



1349-CPD-21
05
EN 13361, EN 13362
EN 13491, EN 13492
EN 13493

wepelen PE-LLD contains approx 97,5% of high quality polymers and 2,5% of carbon black, antioxidants and heat stabilizers.

DURABILITY			
Property	Unit	Test method	Value
Oxidation resistance	-	DIN EN 14575	fulfilled
Oxidative induction time (OIT)	min	ASTM D 3895	> 100
Stress crack resistance	h	DIN EN 14576	> 200
Weathering resistance	h	DIN EN 12224	> 3000
Root resistance	-	DIN EN 14416	fulfilled
Resistance to leaching	-	DIN EN 14415	fulfilled
Chemical resistance	-	DIN EN 14414	fulfilled
Microbiological resistance	-	DIN EN 12225	fulfilled

FUNCTIONAL PROPERTIES			
Property	Unit	Test method	Value
Foldability at low temperatures	°C	DIN EN 495-5	< -40
Dimensional stability	%	DIN EN 1107-2	< 2,0

MECHANICAL PROPERTIES									
Property	Unit	Test method	Value						
Thickness	mm	ASTM D 5994	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50	
Tolerance	%		+/- 5	+/- 5	+/- 5	+/- 5	+/- 5	+/- 5	+/- 5
Asperity Height	mm	ASTM D 7466	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Tolerance		GRI/GM13	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00
Tensile strength at yield	Mpa	DIN EN ISO 527	-	14	14	14	14	14	-
Tolerance		Typ5 / 100mm/min	-	-3	-3	-3	-3	-3	-
Elongation at yield	%		-	12	12	12	12	12	-
Tolerance			-	-2	-2	-2	-2	-2	-
Tensile strength at break	Mpa		-	36	36	36	36	36	-
Tolerance			-	-3	-3	-3	-3	-3	-
Elongation at break	%		-	900	900	900	900	900	-
Tolerance			-	-100	-100	-100	-100	-100	-
Tear resistance	N/mm	ISO 34, Method B, Procedure (a)	-	130	130	130	130	130	-
Tolerance		50mm/min	-	-20	-20	-20	-20	-20	-
Static puncture	KN	DIN EN ISO 12236	-	-	4,0	-	-	-	-
Tolerance			-	-	-1,0	-	-	-	-
Bursting pressure	%	DIN 61551	-	-	> 9	-	-	-	-
Resistance to static loading	-	DIN EN 12730	-	-	fulfilled	-	-	-	-

Remarks

This information is provided for reference purposes only and is not intended as a warranty or guarantee. RKW SE assumes no liability in connection with the use of this information. This information is subject to change without prior notice. Please ask RKW SE for updated information. The mentioned values are taken from the smooth edges of the Material.

RKW SE
Business Unit WERRA
Industriestrasse 2 - 6
36269 Philippsthal
Germany

Phone +49 6620 76 0
Fax +49 6620 73 73
Mail info@rkw-group.com
Web www.rkw-group.com

Bilaga 2 – Testrapporter EN ISO 11925-2, Kantantändning

PROVNINGSprotokoll EN ISO 11925-2, DIN 4102, DIN 53 438

Tilläggskrav för tunnelfembran

Projekt nr: M-Nr:

Företag:

Produkt: *Skumtec 1,5 mm*

Tändkällans applicering kantantändning ytantändning

Antändningstid 15 sekunder 30 sekunder

Utrustning Brännare nr 700155 (DIN) Brännare inv nr 701100 (EN ISO)
 Tumstock från Hultafors, Leveranskontrollerad klocka.

Applicering

Konditionering Temperatur (23 ± 2) °C / RF (50 ± 5) % Ej konditionerat

Klimat lab Temperatur (23 ± 5)..... °C RF (50 ± 20)..... %

Observationer under brandprovningen

Försök nr	Provkroppen antänds (s)	Flammorna når 150 mm vid tiden (s)	Efterbrinntid (s)	Brinnande droppar	Brinnande droppar = filterpappret antänds	
				Ja/Nej	Ja/Nej	Tid (s)
1 ↑	<i>10</i>	<i>—</i>	<i>6</i>	<i>Ja</i>	<i>Nej</i>	<i>—</i>
2 ↑						
3 ↑						
4 →						
5 →						
6 →						

Övriga observationer

.....
.....
.....
.....
.....

Provningsdatum: Sign.....

PROVNINGS PROTOKOLL EN ISO 11925-2, DIN 4102, DIN 53 438
Tilläggskrav för tunnelmembran

Projektnr: M-Nr:

Företag:

Produkt: *SKUMTEC 2,0 mm*

Tändkällans applicering kantantändning ytantändning

Antändningstid 15 sekunder 30 sekunder

Utrustning Brännare nr 700155 (DIN) Brännare inv nr 701100 (EN ISO)
 Tumstock från Hultafors, Leveranskontrollerad klocka.

Applicering

Konditionering Temperatur (23 ± 2) °C / RF (50 ± 5) % Ej konditionerat

Klimat lab Temperatur (23 ± 5)..... °C RF (50 ± 20)..... %

Observationer under brandprovningen

Försök nr	Provkroppen antänds (s)	Flammorna når 150 mm vid tiden (s)	Efterbrinntid (s)	Brinnande droppar	
				Ja/Nej	Ja/Nej Tid (s)
1 ↑	<i>10</i>	<i>—</i>	<i>35</i>	<i>ja</i>	<i>ja</i> <i>13</i>
2 ↑					
3 ↑					
4 →					
5 →					
6 →					

Övriga observationer

Släckte vid ca 35s

Provningsdatum: Sign.....

B2

PROVNINGSprotokoll EN ISO 11925-2, DIN 4102, DIN 53 438

Tilläggskrav för tunnelfembran

Projektnr: M-Nr: 9001

Företag:

Produkt: RKW 1,5 mm

Tändkällans applicering kantantändning ytantändning

Antändningstid 15 sekunder 30 sekunder

Urustning Brännare nr 700155 (DIN) Brännare inv nr 701100 (EN ISO)
 Tumstock från Hultafors, Leveranskontrollerad klocka.

Applicering

Konditionering Temperatur (23 ± 2) °C / RF (50 ± 5) % Ej konditionerat

Klimat lab Temperatur (23 ± 5) 21,8 °C RF (50 ± 20) 26,8 %

Observationer under brandprovningen

Försök nr	Provkroppen antänds (s)	Flammorna när 150 mm vid tiden (s)	Efterbrinntid (s)	Brinnande droppar		Tid (s)
				Ja/Nej	Ja/Nej	
1 ↑	6	—	4-44	Ja	Ja	12
2 ↑						
3 ↑						
4 →	7	—	4-44	Ja	Ja	10
5 →						
6 →						

Övriga observationer

* Släcktes vid ca 44s
.....
.....
.....
.....

Provningsdatum: 2015-04-22 Sign: 

PROVNINGSPROTOKOLL EN ISO 11925-2, DIN 4102, DIN 53 438

Tilläggskrav för tunnelsemembran

Projektnr: 5703918 M-Nr: 9052M

Företag: EX-jobb, CTH

Produkt: Oldroyd 1,1 mm

Tändkällans applicering kantantändning ytantändning

Antändningstid 15 sekunder 30 sekunder

Utrustning Brännare nr 700155 (DIN) Brännare inv nr 701100 (EN ISO)
 Tumstock från Hultafors, Leveranskontrollerad klocka.

Applicering

Konditionering Temperatur (23 ± 2) °C / RF (50 ± 5) % Ej konditionerat

Klimat lab Temperatur (23 ± 5) 2/0 °C RF (50 ± 20) 4/5 %

Observationer under brandprovningen

Försök nr	Provkroppen antänds (s)	Flammorna når 150 mm vid tiden (s)	Efterbrinntid (s)	Brinnande droppar	Brinnande droppar = filterpappret antänds	
				Ja/Nej	Ja/Nej	Tid (s)
1 ↑	3-4	33	7/0	ja	ja	29
2 ↑						
3 ↑						
4 →						
5 →						
6 →						

Övriga observationer

.....
.....
.....
.....
.....

Provningsdatum: 2015-05-05 Sign: 

Appendix 1

Test results – EN ISO 11925-2:2010**Product**

According to the client: Product called “OLDROYD MultiSafe1500 R”, consisting of polyethylene (LLDPE). The product has a nominal area weight of 1.4 kg/ m² and a nominal thickness of 1.5 mm.

Application

Edge exposure. Flame exposure time was 15 seconds.

Test results

NI = No ignition.

Test no	1	2	3	4	5	6
Direction	↑	↑	↑	→	→	→
The sample ignited, s	5	4	3	4	3	3
The flames reach 150 mm, s	-*	-*	-*	-*	-*	-*
Burning droplets	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Time when filter paper ignited, s	-**	-**	-**	-	-**	-**
After flame time, s	> 10	> 10	> 10	> 10	> 10	> 10

* Flames did not reach the 150 mm mark during the 20 seconds test time.

** No ignition of filter paper.

Bilaga 3 – Testrapporter ISO 5660 samt simulering i ConeTools

Provningsresultat ISO 5660-1:2002 och ISO 5660-2:2002

Produkt

Skumtech 1,5 mm

Provningsutförande

Strålningsnivå: 35 kW/m².

Kalibreringskonstant (C): C_constant m^{1/2} g^{1/2} K^{1/2}.

Orientering: Horisontell .

Underlag: Endast den obrännbara isolering som anges i standarden.

Exponerad yta av provkropp: 0.009 m². Kantram användes under provning

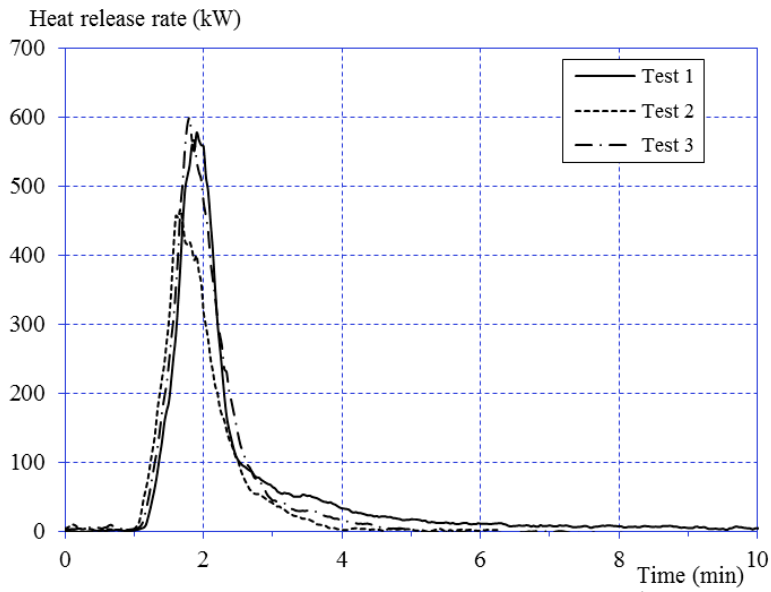
provkropp:

Applicering provkropp: Löst lagd på underlaget.

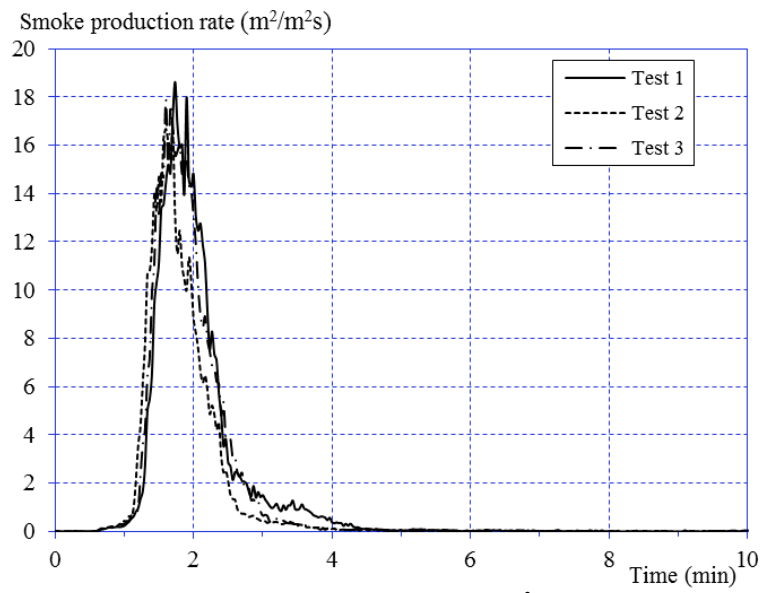
Provningsresultat

Egenskap	Variabel- namn	Test 1	Test 2	Test 3	Medelvärde
Sticklågor (min:s)	t _{flash}	-	-	-	-
Antändning (min:s)	t _{ign}	01:11	01:01	01:09	01:07
Flammor slocknat (min:s)	t _{ext}	17:31	03:53	04:59	08:48
Provtid (min:s)	t _{test}	19:31	05:53	06:59	10:48
Utvecklad värmeeffekt (kW/m ²)	q	See figure 1	See figure 1	See figure 1	
Max värmeeffekt (kW/m ²)	q _{max}	577	466	599	547
Medeleffekt, 3 min (kW/m ²)	q ₁₈₀	163	135	166	155
Medeleffekt, 5 min (kW/m ²)	q ₃₀₀	104	82	100	95
Totalt utvecklad energi (MJ/m ²)	THR	34.5	24.6	30.2	29.8
Rökproduktion (m ² /m ² s)	SPR	See figure 2	See figure 2	See figure 2	
Max rökproduktion (m ² /m ² s)	SPR _{max}	18.6	16.7	17.9	17.7
Totalt utvecklad mängd rök före lågor (m ² /m ²)	TSP _{nonfl}	9.8	5.3	9.1	8.1
Totalt utvecklad mängd rök under lågor (m ² /m ²)	TSP _{fl}	954.6	784.6	910.1	883.1
Totalt utvecklad mängd rök (m ² /m ²)	TSP	964	790	919	891
Provkroppsvikt före prov (g)	M ₀	15.7	15.1	15.5	15.4
Provkroppsvikt vid ihållande flammor (g)	M _s	11.1	0.0	14.1	8.4
Provkroppsvikt efter prov (g)	M _f	0.0	#####	1.8	#####
Medelmassförlust (g/m ² s)	MLR _{ign-end}	1.2	4.2	3.4	2.9
Medelmassförlust (g/m ² s)	MLR ₁₀₋₉₀	3.0	5.7	5.7	4.8
Total massförlust (g/m ²)	TML	1285	1306	1345	1312
Effektivt värmevärde (MJ/kg)	ΔH _c	26.9	18.8	22.5	22.7
Max average rate of heat emission (kW/m ²)	MARHE	162.2	148.6	175.2	162.0
Volymflöde i rökkanal (l/s)	V	24	24	24	24

Diagram över värme- och rökutveckling



Figur 1 Värmeutveckling för Skumtech 1,5 mm, vid 35 kW/m^2 .



Figur 2 Rökutveckling för Skumtech, vid 35 kW/m^2 .



ConeTools

Results from RCT simulation:

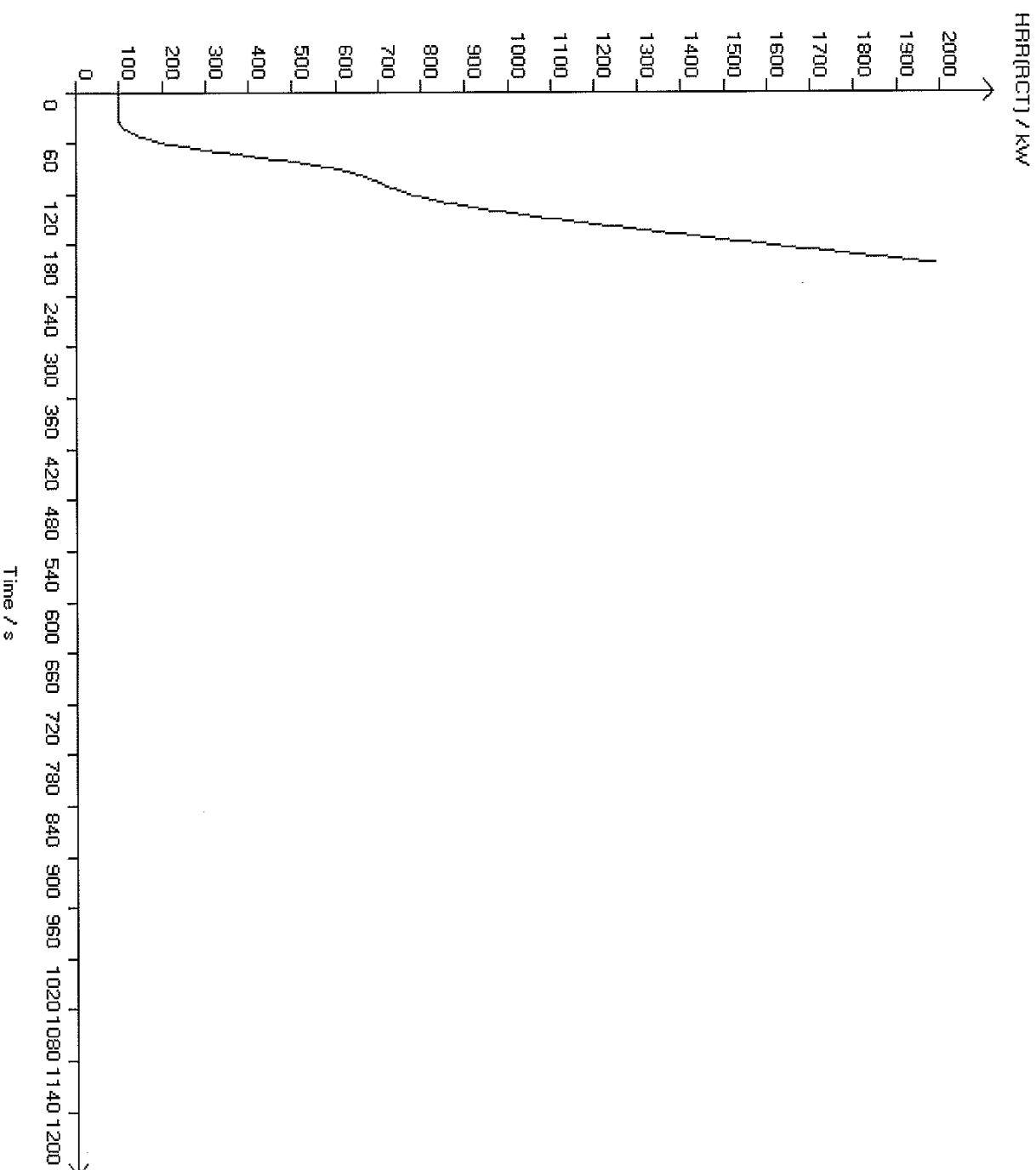
Tign (Cone) = 71 s
Flux (Cone) = 35 kW/m²
THR (RCT) = 0 MJ
Time to flashover (RCT) = 143 s

Results from SBI simulation:

Tign(Cone) = 71 s
Flux(Cone) = 35 kW/m²
THR 600s (SBI) = 20.5 MJ
Figra Max (SBI) = 573.6 W/s
Figra02 Max (SBI) = 573.6 W/s
Figra04 Max (SBI) = 573.6 W/s

Euroclass = D / S91

Cone time to ignition:
Defined to 71 s



Provningsresultat ISO 5660-1:2002 och ISO 5660-2:2002

Produkt

Skumtech 2 mm

Provningsutförande

Strålningsnivå: 35 kW/m².

Kalibreringskonstant (C): C_constant m^{1/2} g^{1/2} K^{1/2}.

Orientering: Horisontell.

Underlag: Endast den obrännbara isolering som anges i standarden.

Exponerad yta av provkropp: 0.009 m². Kantram användes under provning

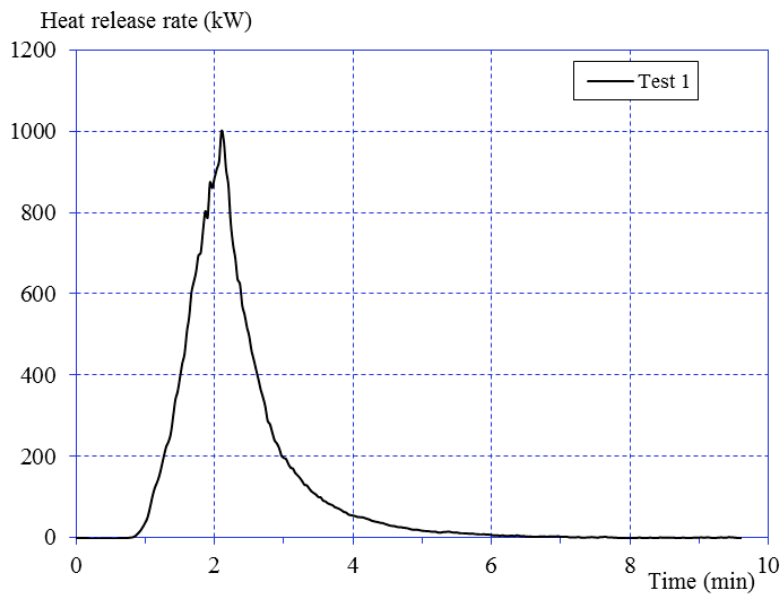
provkropp:

Applicering provkropp: Löst lagd på underlaget.

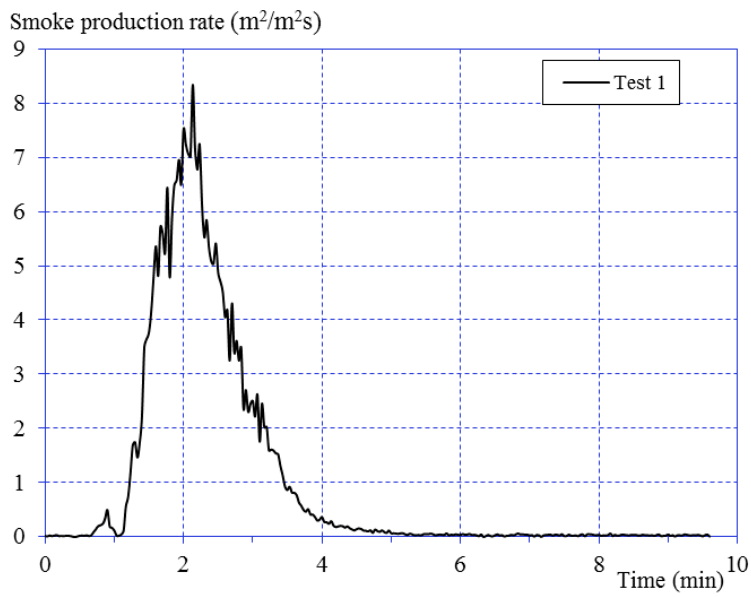
Provningsresultat

Egenskap	Variabel- namn	Test 1
Sticklågor (min:s)	t _{flash}	-
Antändning (min:s)	t _{ign}	00:58
Flammor slocknat (min:s)	t _{ext}	06:51
Provtid (min:s)	t _{test}	08:51
Utvecklad värmeeffekt (kW/m ²)	q	See figure 1
Max värmeeffekt (kW/m ²)	q _{max}	1001
Medeleffekt, 3 min (kW/m ²)	q ₁₈₀	359
Medeleffekt, 5 min (kW/m ²)	q ₃₀₀	224
Totalt utvecklad energi (MJ/m ²)	THR	67.6
Rökproduktion (m ² /m ² s)	SPR	See figure 2
Max rökproduktion (m ² /m ² s)	SPR _{max}	8.3
Totalt utvecklad mängd rök före lågor (m ² /m ²)	TSP _{nonfl}	4.2
Totalt utvecklad mängd rök under lågor (m ² /m ²)	TSP _{fl}	591.7
Totalt utvecklad mängd rök (m ² /m ²)	TSP	596
Provkroppsvikt före prov (g)	M ₀	18.1
Provkroppsvikt vid ihållande flammor (g)	M _s	16.3
Provkroppsvikt efter prov (g)	M _f	0.4
Medelmassförlust (g/m ² s)	MLR _{ign-end}	3.5
Medelmassförlust (g/m ² s)	MLR ₁₀₋₉₀	7.8
Total massförlust (g/m ²)	TML	1797
Effektivt värmevärde (MJ/kg)	ΔH _c	37.6
Max average rate of heat emission (kW/m ²)	MARHE	334.9
Volymflöde i rökkanal (l/s)	V	24

Diagram över värme- och rökutveckling



Figur 1 Värmeutveckling för Skumtech 2 mm vid 35 kW/m^2 .



Figur 2 Rökutveckling för Skumtech 2 mm vid 35 kW/m^2 .



ConeTools

Results from RCT simulation:

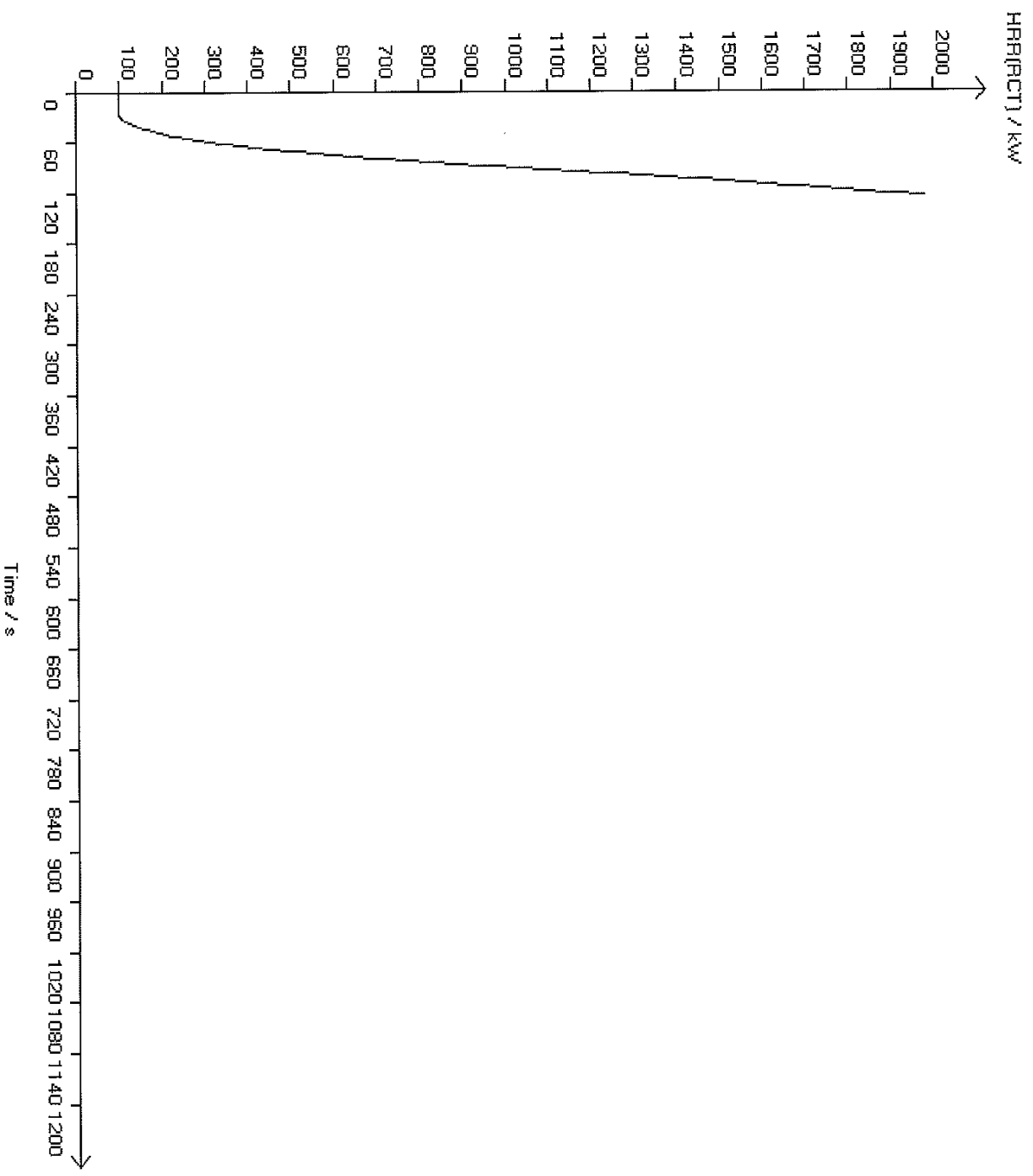
Tign (Cone) = 58 s
Flux (Cone) = 35 kW/m²
THR (RCT) = 0 MJ
Time to flashover (RCT) = 91 s

Results from SBI simulation:

Tign(Cone) = 58 s
Flux(Cone) = 35 kW/m²
THR 600s (SBI) = 43.3 MJ
Figra Max (SBI) = 1419.2 W/s
Figra02 Max (SBI) = 1419.2 W/s
Figra04 Max (SBI) = 1419.2 W/s

Euroclass = E or worse

Cone time to ignition:
Defined to 58 s



Provningsresultat ISO 5660-1:2002 och ISO 5660-2:2002

Produkt

Oldroyd

Provningsutförande

Strålningsnivå: 35 kW/m².

Kalibreringskonstant (C): C_constant m^{1/2} g^{1/2} K^{1/2}.

Orientering: Horisontell .

Underlag: Endast den obrännbara isolering som anges i standarden.

Exponerad yta av provkropp: 0.009 m². Kantram användes under provning

provkropp:

Applisering provkropp: Löst lagd på underlaget.

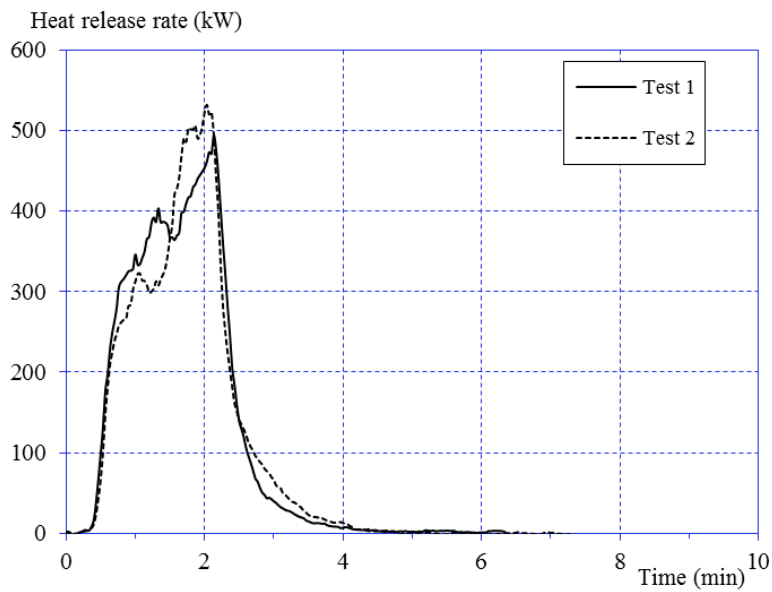
Exponerad sida: Test 1 – grå sida

Test 2 – vit sida

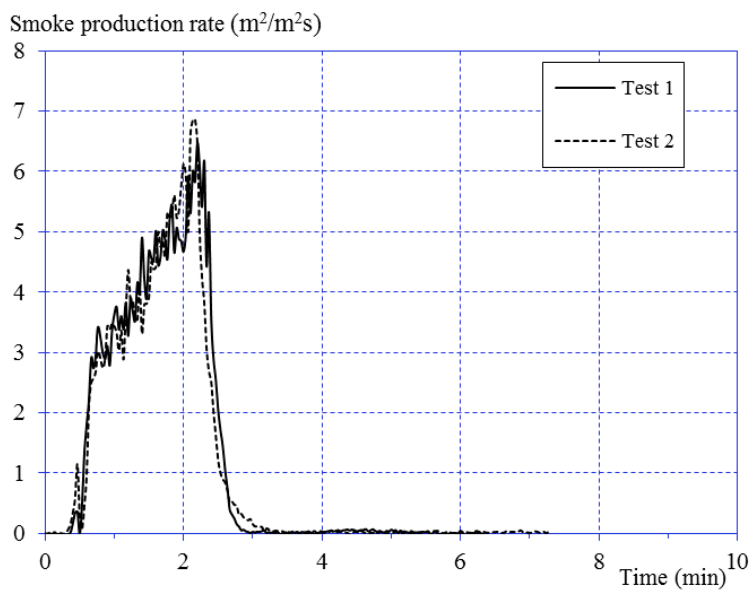
Provningsresultat

Egenskap	Variabel- namn	Test 1	Test 2	Medelvärde
Sticklågor (min:s)	t _{flash}	-	-	-
Antändning (min:s)	t _{ign}	00:26	00:28	00:27
Flammor slocknat (min:s)	t _{ext}	04:07	05:02	04:35
Provtid (min:s)	t _{test}	06:07	07:02	06:34
Utvecklad värmeeffekt (kW/m ²)	q	See figure 1	See figure 1	
Max värmeeffekt (kW/m ²)	q _{max}	494	532	513
Medeleffekt, 3 min (kW/m ²)	q ₁₈₀	247	247	247
Medeleffekt, 5 min (kW/m ²)	q ₃₀₀	151	150	150
Totalt utvecklad energi (MJ/m ²)	THR	45.2	45.2	45.2
Rökproduktion (m ² /m ² s)	SPR	See figure 2	See figure 2	
Max rökproduktion (m ² /m ² s)	SPR _{max}	6.5	6.9	#####
Totalt utvecklad mängd rök före lågor (m ² /m ²)	TSP _{nonfl}	0.7	3.5	2.1
Totalt utvecklad mängd rök under lågor (m ² /m ²)	TSP _{fl}	497.7	478.2	488.0
Totalt utvecklad mängd rök (m ² /m ²)	TSP	498	482	490
Provkroppsvikt före prov (g)	M ₀	12.2	13.1	12.7
Provkroppsvikt vid ihållande flammor (g)	M _s	12.0	12.8	#####
Provkroppsvikt efter prov (g)	M _f	1.8	2.5	#####
Medelmassförlust (g/m ² s)	MLR _{ign-end}	3.3	2.8	3.1
Medelmassförlust (g/m ² s)	MLR ₁₀₋₉₀	9.6	9.1	9.3
Total massförlust (g/m ²)	TML	1148	1136	1142
Effektivt värmevärde (MJ/kg)	ΔH _c	39.4	39.8	39.6
Max average rate of heat emission (kW/m ²)	MARHE	287.2	280.4	283.8
Volymflöde i rökkanal (l/s)	V	24	24	24

Diagram över värme- och rökutveckling



Figur 1 Värmeutveckling för Oldroyd vid 35 kW/m^2 .



Figur 2 Rökutveckling för Oldroyd vid 35 kW/m^2 .

Uppmätta värden
Tjocklek 1,1 mm.



ConeTools

Results from RCT simulation:

Tign (Cone) = 26 s

Flux (Cone) = 35 kW/m²

THR (RCT) = 0 MJ

Time to flashover (RCT) = 59 s

Results from SBI simulation:

Tign(Cone) = 26 s

Flux(Cone) = 35 kW/m²

THR 600s (SBI) = 29 MJ

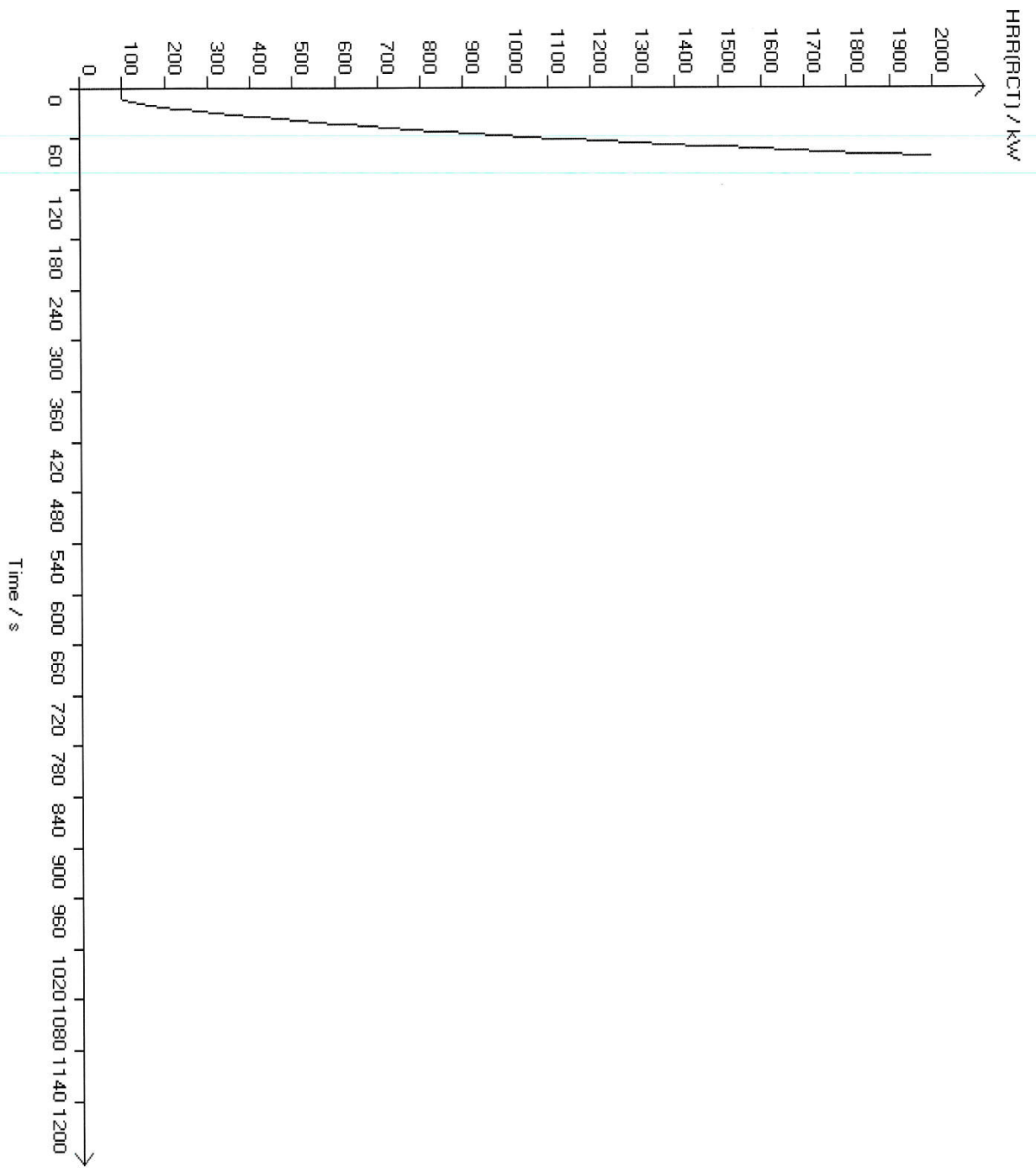
Figra Max (SBI) = 1896.3 W/s

Figra02 Max (SBI) = 1896.3 W/s

Figra04 Max (SBI) = 1896.3 W/s

Euroclass = E or worse

Cone time to ignition:
Defined to 26 s



Provningsresultat ISO 5660-1:2002 och ISO 5660-2:2002

Produkt

RKW

Provningsutförande

Strålningsnivå: 35 kW/m².

Kalibreringskonstant (C): C_constant m^{1/2} g^{1/2} K^{1/2}.

Orientering: Horisontell.

Underlag: Endast den obrännbara isolering som anges i standarden.

Exponerad yta av provkropp: 0.009 m². Kantram användes under provning

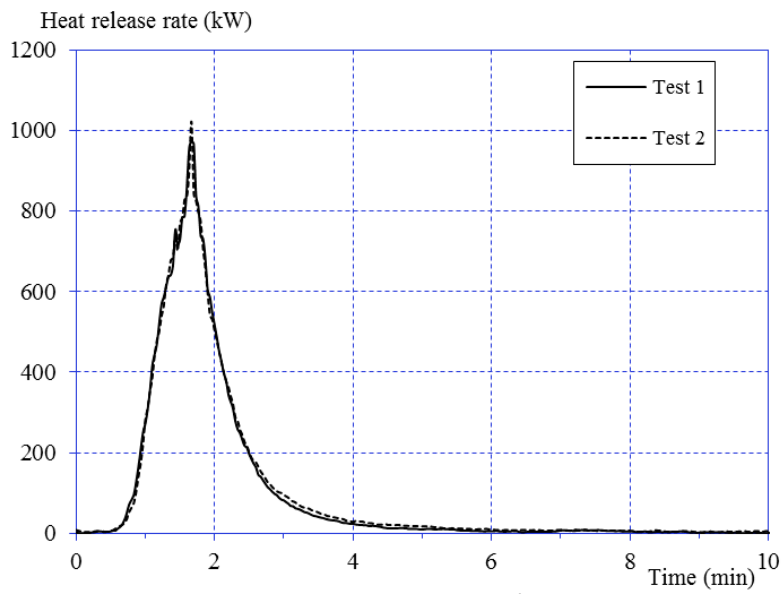
provkropp:

Applisering provkropp: Löst lagd på underlaget.

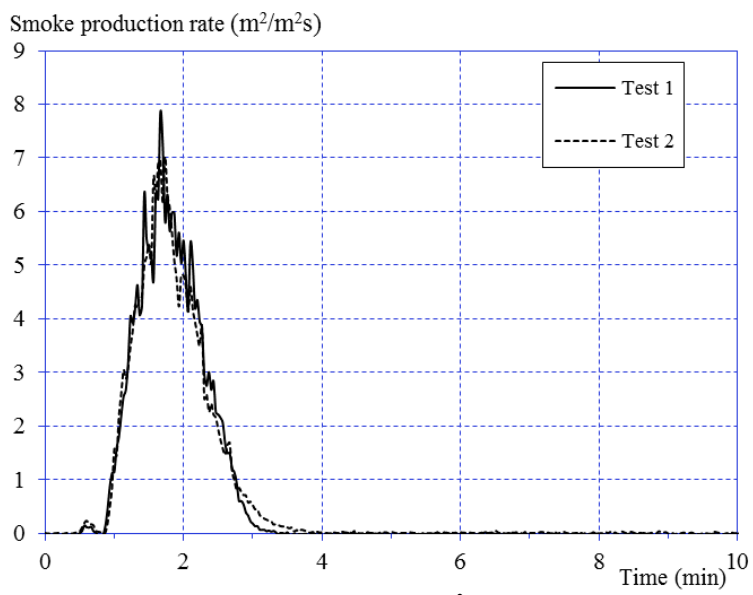
Provningsresultat

Egenskap	Variabel- namn	Test 1	Test 2	Medelvärde
Sticklågor (min:s)	t _{flash}	-	-	-
Antändning (min:s)	t _{ign}	00:38	00:39	00:39
Flammor slocknat (min:s)	t _{ext}	09:04	08:23	08:43
Provtid (min:s)	t _{test}	11:04	10:23	10:43
Utvecklad värmeeffekt (kW/m ²)	q	See figure 1	See figure 1	
Max värmeeffekt (kW/m ²)	q _{max}	973	1022	997
Medeleffekt, 3 min (kW/m ²)	q ₁₈₀	319	320	320
Medeleffekt, 5 min (kW/m ²)	q ₃₀₀	198	201	199
Totalt utvecklad energi (MJ/m ²)	THR	60.4	62.0	61.2
Rökproduktion (m ² /m ² s)	SPR	See figure 2	See figure 2	
Max rökproduktion (m ² /m ² s)	SPR _{max}	7.9	7.0	#####
Totalt utvecklad mängd rök före lågor (m ² /m ²)	TSP _{nonfl}	0.7	1.5	1.1
Totalt utvecklad mängd rök under lågor (m ² /m ²)	TSP _{fl}	438.2	432.6	435.4
Totalt utvecklad mängd rök (m ² /m ²)	TSP	439	434	437
Provkroppsvikt före prov (g)	M ₀	13.4	13.7	13.5
Provkroppsvikt vid ihållande flammor (g)	M _s	8.4	8.7	#####
Provkroppsvikt efter prov (g)	M _f	0.2	0.1	#####
Medelmassförlust (g/m ² s)	MLR _{ign-end}	2.2	2.5	2.3
Medelmassförlust (g/m ² s)	MLR ₁₀₋₉₀	9.9	9.4	9.7
Total massförlust (g/m ²)	TML	1440	1452	1446
Effektivt värmevärde (MJ/kg)	ΔH _c	42.0	42.7	42.3
Max average rate of heat emission (kW/m ²)	MARHE	361.4	355.3	358.4
Volymflöde i rökkanal (l/s)	V	24	24	24

Diagram över värme- och rökutveckling



Figur 1 Värmeutveckling för RKW vid 35 kW/m^2 .



Figur 2 Rökutveckling för RKW vid 35 kW/m^2 .



ConeTools

Results from RCT simulation:

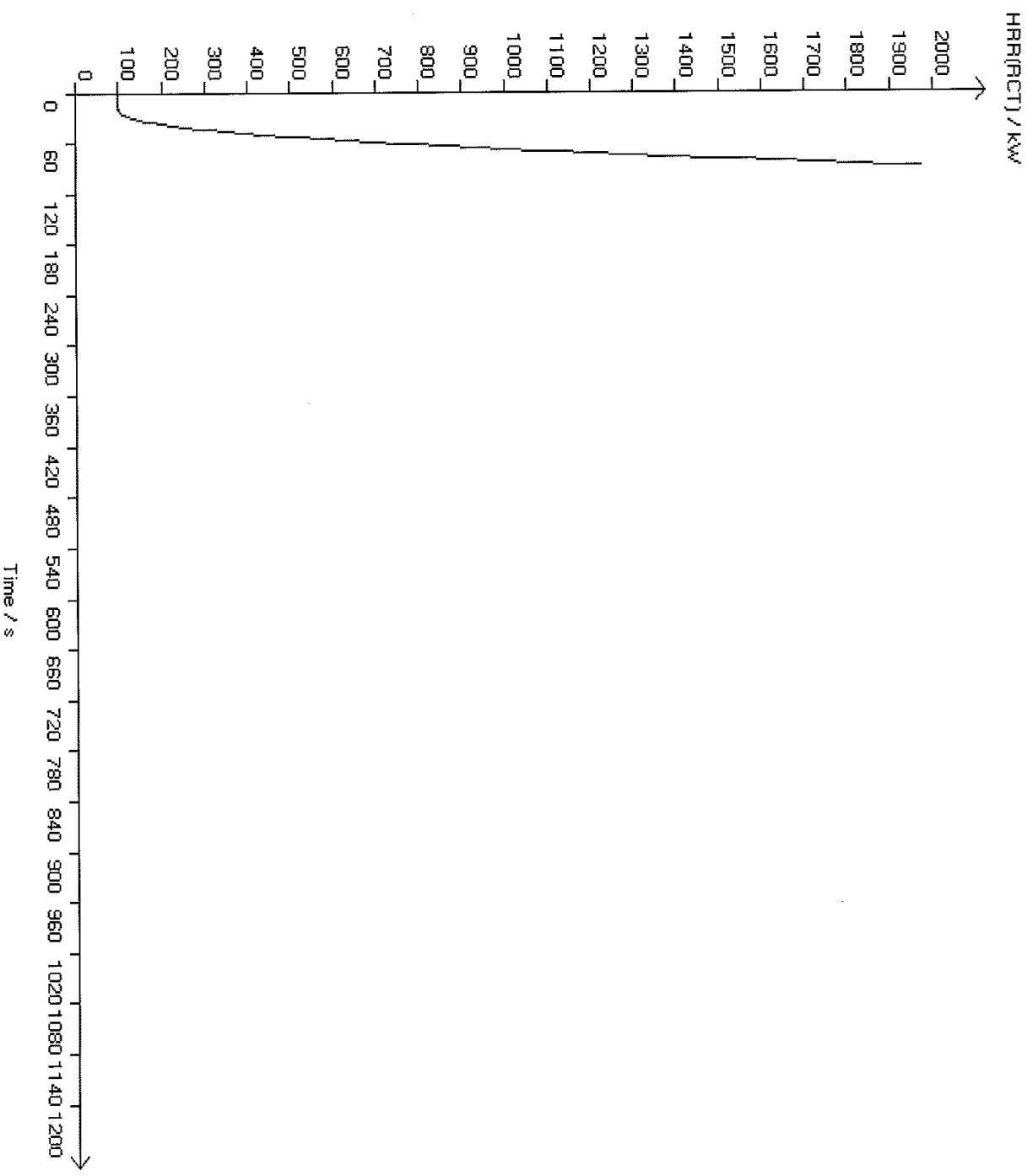
Tign (Cone) = 38 s
Flux (Cone) = 35 kW/m²
THR (RCT) = 0 MJ
Time to flashover (RCT) = 69 s

Results from SBI simulation:

Tign(Cone) = 38 s
Flux(Cone) = 35 kW/m²
THRa 600s (SBI) = 38.6 MJ
Figra02 Max (SBI) = 2169.5 W/s
Figra04 Max (SBI) = 2169.5 W/s

Euroclass = E or worse

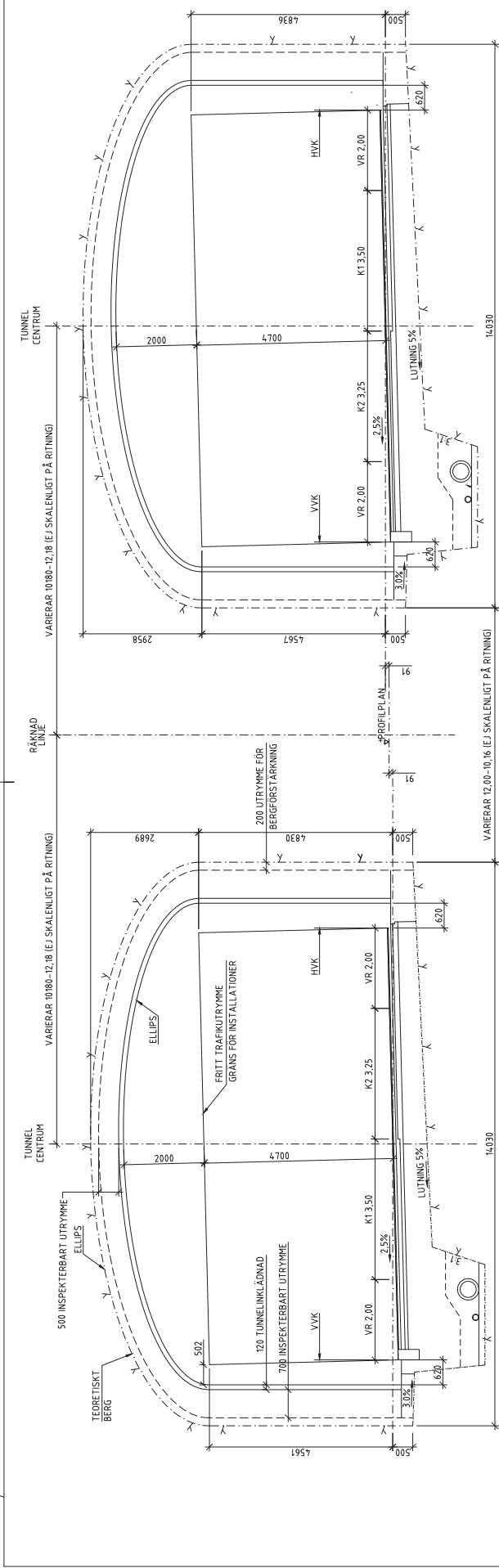
Cone time to ignition:
Defined to 38 s



Förklaring till testresultat – ISO 5660

Parameter	Förklaring
Provstart	Provkroppen utsätts för värmestrålning och klockan startas.
t_{flash}	Sticklågor. Tid från provstart tills lågor med kortare varaktighet än 1 s.
t_{ign}	Tid från provstart tills fasta lågor i materialet, varaktighet mer än 10 s.
t_{ext}	Tid från provstart tills materialet slocknar.
Provslut	Definierat som tidpunkten när dels, materialet är slocknat sedan 2 minuter, och dels massförlusten understiger 150 g/m^2 under 1 minut.
t_{test}	Provningstid. Från provstart till provslut.
Q_{max}	Maximalt uppmätt värmeeffekt under hela provet.
Q_{180}	Medelvärde av värmeeffekten under 3 minuter från antändning. Om materialet slocknar tidigare räknas effekten som noll efter provslut.
Q_{300}	Medelvärde av värmeeffekten under 5 minuter från antändning. Om materialet slocknar tidigare räknas effekten som noll efter provslut.
THR	Totalt utvecklade energi från provstart till provslut.
SPR_{max}	Maximal rökutveckling från provstart till provslut.
TSP	Totalt producerad mängd rök från provstart till provslut.
M_0	Materialets massa vid provstart.
M_s	Materialets massa vid fasta lågor.
M_f	Materialets massa efter prov.
$\text{MLR}_{\text{ign-end}}$	Medelvärde av massförlusthastighet från antändning till provslut.
MLR_{10-90}	Medelvärde av massförlusthastighet mellan 10% och 90 % av massförlusten.
TML	Total massförlust från antändning till provslut.
ΔH_c	Effektivt värmevärde beräknat som total energi genom total massförlust räknat från provstart till provslut.
SEA	Specifik rökproduktion beräknat som totalt producerad mängd rök genom total massförlust räknat från provstart till provslut.
MARHE	Maximum Average Rate of Heat Emission definierad som maximum av funktionen (ackumulerad värmeeffekt från $t = 0$ till $t = t$), dividerad med ($t = t$).
V	Volymflöde i rökgaskanal. Medelvärde under försöket.

Bilaga 4 – Exempelritningar över tunnel med membran



TYPSEKTION 1:50

BULT POS. A	MIN LÄNGD	MAX LÄNGD	FÖRANKR LÄNGD I BERG	ANM.
1,23	---	---	---	NEDRE BULT BAKOM BARRIÄRELEMENT
2,22	---	---	---	ÖVRE BULT BAKOM BARRIÄRELEMENT
3,21	---	---	---	VÄGGBULTAR
5,19	---	---	---	HÖRNBULT 15° VINKEL
6-8,16-18	---	---	---	HÖRNBULT 3 RADER
4,20	---	---	---	VÄGGBULTAR
9-15	---	---	---	TAKBULTAR

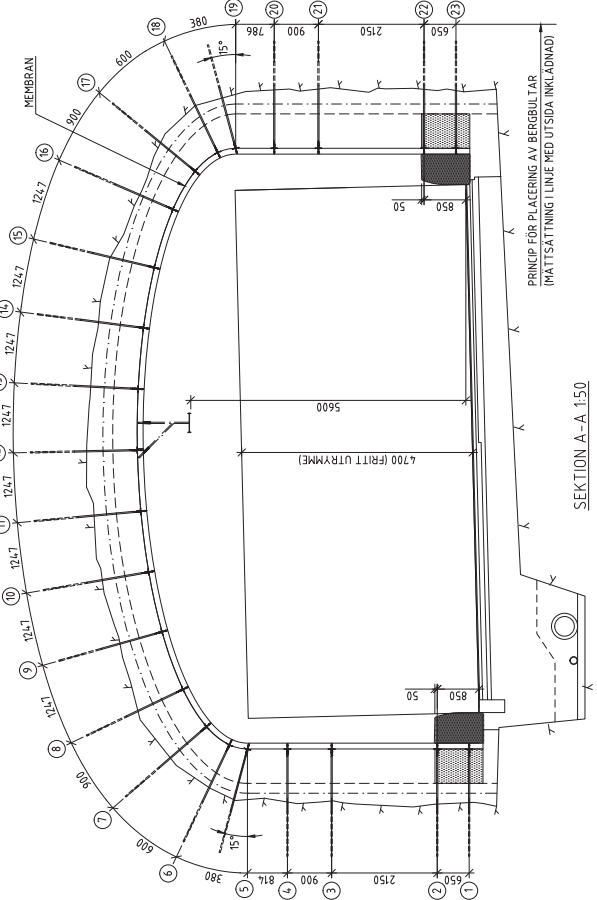
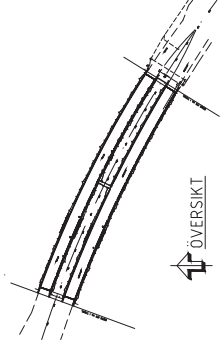
*DET FRIA AVSTÅNDET MÅTS FÖR VARJE BULT VAREFTER EV BEHOV AV TILLKOMMANDE BULTAR BESTÄMS I SAMRÅD MED KONSTRUKTÖR.

TABELL 1
BULTPOS ENL. SEKTION A-A
BULTLÄNGDER (INKLUSIVE HYLSA) MELLAN TUNNELMEMBRAN OCH BERG.

FÖRKLÄRINGAR
BULTARNA SOM ANVÄNDS FÖR INKLÄDNADENS INFÄSTNING I BERG ÄR PLACERADE I SEKTIONER VINKELPÅTA DELS MOT TUNNELCENTRUM OCH DELS MOT VÄGGPROFILEN.

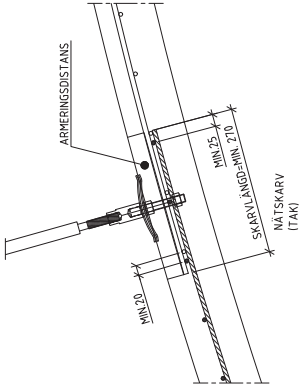
BULTSEKTIONERNA ÄR PLACERADE MED MAX 12m AVSTÅND I TUNNELS LÄNGDIRIKTION. MÄTT I NVÄ MED MEMBRANET

SEKTIONSNIVERNINGEN UTGÅR FRÅN TUNNELDÖRENS SÖDRA ÄNDE. BULTARNAS EXAKTA PLACERING FRAMGÅR AV SÄRSKILD KOORDINATFÖRTECKNING.

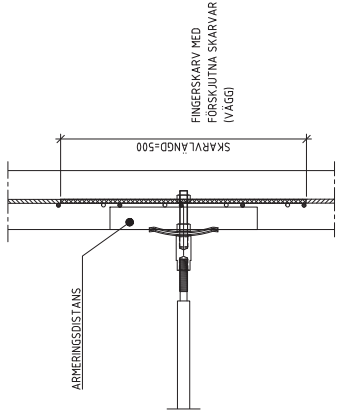


SEKTION A-A 1:50

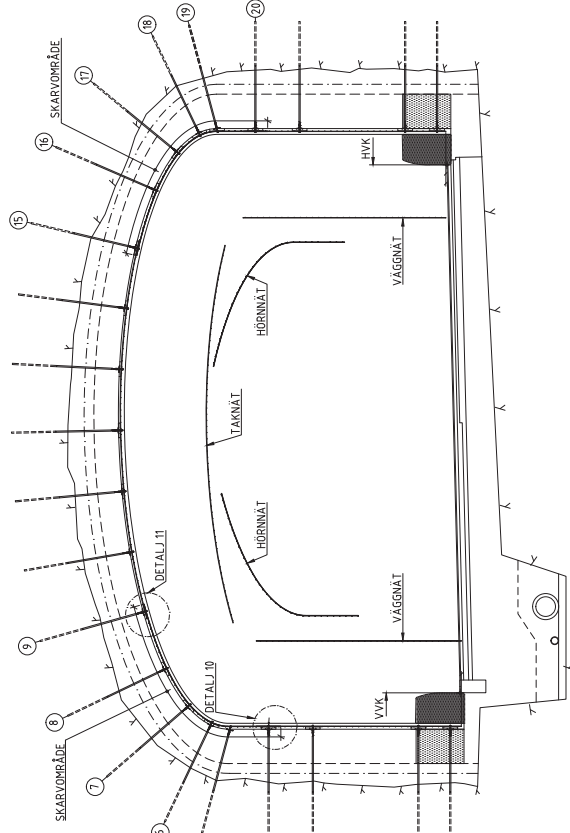
BYGGHANDLING	GRANSKNINGSHANDLING
VÄG E6 DELLEN PÅLEN-TANUMSHEDEN UTDEL VALLA-SVINESUND TUNNEL GENÖP GERHÖRSBERGET TUNNELINKLÄDNAD	
TRAFIKVERKET Skanska Sverige AB Box 100 SE-100 21 Stockholm	SKANSKA Skanska Sverige AB Box 100 SE-100 21 Stockholm
UPPDRAGSLEDAVNINGSNUMMER M. HERMANSSON 14.0 907	TYPSEKTION OCH SEKTION A RITNING NR 150 RITNINGENS 150 RITNINGENS 150
UPPDRAGSLEDAVNINGSNUMMER 85 43 40 201 71 K 21 34	RITNINGENS 0



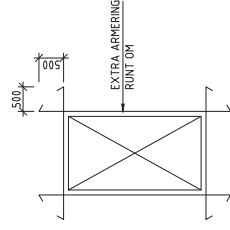
DETAILJ 11, 1:5



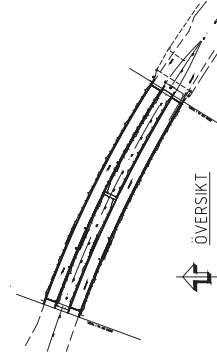
DETAILJ 10, 1:5



SEKTION B-B, 1:50



TYPDETAILJ EXTRA ARMERING, 1:50
GÄLLER SOM PRINCIP KRING DÖRRÖPPNINGAR



ÖVERSIKT

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BYGGHANDLING	GRANSKNINGSHANDLING									
<p>TRAFIKVERKET Skanska Sverige AB Sveväg 100, 171 64 Stockholm</p> <p>SKANSKA Skanska Sverige AB Sveväg 100, 171 64 Stockholm</p>										
<p>VÄG E6 DEL EN PÅLEN-TANUMSHEDE UDDEVALLA-SVINESUND TUNNEL GENOM GERUHSBERGET TUNNELKLADNAD ARMERINGSUTFÖRNING</p>										
<p>SEKTION</p> <p>BYGGHANDLING: VÄG E6, UDDEVALLA-SVINESUND, TUNNEL KLADNAD, ARMERINGSUTFÖRNING</p> <p>BYGGHANDLING: VÄG E6, UDDEVALLA-SVINESUND, TUNNEL KLADNAD, ARMERINGSUTFÖRNING</p>										
<p>85 43 40 201171 K 21 42</p>										



