

Examensarbete

Hösten 2011

Sektionen för Hälsa och Samhälle

Maskinteknik

En experimentell studie av vulkaniseringstidens och
vulkaniseringshastighetens påverkan av
värmväxlarpackningar

Författare

Erinc Khatibi

Handledare

Professor Jan-Eric Ståhl

Sven Olov-Kronass

Thomas Skåre

Examinator

Thomas Skåre

Sektionen för Hälsa och Samhälle
Avdelning Maskinteknik
Högskolan Kristianstad
SE-291 88 Kristianstad
Sverige

School of Health and Society
Department Maskinteknik
Kristianstad University College
SE-291 88 Kristianstad
Sweden

Författare, program och år / author, program and year:

Erinc Khatibi, M05, 2011

Handledare / instructor

Professor Jan-Eric Ståhl, Industriell produktion avdelning LTH

Sven Olov-Kronass, tekniskchef i Gislaved Gummi AB

Thomas Skåre, universitetslektor i konstruktionsteknik HKR

Examen / Examination

Detta examensarbete på 15 högskolepoäng ingår i examenskraven för *Högskoleingenjör i maskinteknik* This graduation work is a part of the requirements for a *Degree of Bachelor in Mechanical Engineering* (in the English translation)

Svensk title

En experimentell studie av vulkaniseringstidens och vulkaniseringshastighetens påverkan av värmväxlarpackningar.

English Title:

An experimental study of the curingtime and curingspeed impact of heatexchanger gaskets

Abstract:

A two-factor design of experiments done on GGAB for the identification of two selected factors influence on the length of the scattering of heat exchanger gaskets. The work consists of four parts: study, choice of survey method, the performance of investigation and analysis of the results. Chosen factors on the study are considered to be the most effecting of the length distribution of seals during the production of GGAB. The study is the first of its kind both in GGAB and in the rubber industry and has an experimental nature

Språk / Language:

Svenska

Godkänd av/Approved by:

Examinator/Examiner

Datum/Date

Sammanfattning

Gislaved Gummi AB är ett internationellt företag som tillverkar gummi produkter. Företaget har under ett antal år försökt att identifiera faktorer som påverkar deras packningars längdvariation. Initialt bestämdes det att man skulle utföra en 18 månaders projekt kring den här frågan med flera doktorer och examensarbetare inblandade. Jag, en teknisk student från Kristianstad högskolans maskintekniska avdelning, ansökte till projektet för att jobba i GGAB som examensarbetare och fick i uppdrag att undersöka två faktorer som ansågs vara mest påverkande av längdvariationen hos packningarna. Faktorererna var Rh-värdet (vulkaniseringshastigheten hos packningspolymeren) och vulkaniseringstiden i packningspressarna. Syftet med undersökningen blev att ta reda på i vilken utsträckning dessa parametrar påverkade längdspridningen och längderna av packningarna, man ville också se om det fanns ett samspel mellan faktorerna. I undersökningen användes en försöksplaneringsmetod. Det gjordes två identiska försök.

Examensarbetets resultat visade att båda rh-värde och vulkaniseringstid hade påverkan av packningslängderna. Ett högt rh-värde gav ca 0,55 mm förlängning av packningarna i båda försöken. En lång vulkaniseringstid gav 1 mm längre packningar i försök 1 och 2,2 mm längre packningar i försök 2. Den faktor som påverkade längderna mest blev vulkaniseringstiden i packningspressarna. Längdspridningen minskade signifikant med en längre vulkaniseringstid.

En samspelseffekt upptäcktes i försök 1 men inte i försök 2. Anledningen till att det inte kunde upptäckas något samspel i försök 2 kunde senare kopplas till att materialet väntade en mycket längre tid i lager som gjorde att rh-värde i gummimassan minskades och ändrade samspelseffekten i försök 2.

De undersökta faktorernas påverkan av längder och längdvariation hos packningar kunde redogöras i undersökningen. Syftet med undersökningen anses vara utred med undantag av samspelseffekten existens.

Ett förslag till ett fortsatt arbete är att göra en ny undersökning där lagringstiden av gummi-materialet är lika långa i båda försöken så att samspelseffekten mellan faktorerna kan verifieras.

Innehållsförteckning

Dokumentblad	i
Sammanfattning	ii
Innehållsförteckning	iii
1 Bakgrund	6
2 Syfte	7
3 Metod	7
4 Utredning	8
4.1 Teori	8
4.1.1 Polymerer	8
4.1.2 Vulkanisering	9
4.1.3 Vulkaniseringsgrad	10
4.1.4 Produktion layout	12
4.1.5 Undersökningsmetod	15
4.1.6 Analysmetod	20
5 Experiment	22
5.1 Aktivitetsordning	22
5.1.1 Förstudie	23
5.1.2 Försöksplaneringsmetod	23
5.1.3 Försöksplanen	23
5.2 Analys av resultaten	24
5.2.1 Faktorförsök 1	24
5.2.2 Faktorförsök 2	25
5.2.2 Faktorförsök 2	26
5.2.3 Referensintervall och signifikans av huvudfaktorer	27
6 Resultat	28
6.1 Faktorförsök 1	28
6.2 Faktorförsök 2	28
6.3 Analys av resultaten	28
6.4 Erhållna standardavvikelser av nivåkombinationer	29
6.5 Sammanställning av faktorförsök resultaten	31
7 Slutsatser	32
7.1 De undersökta parametrars påverkan av packningars längder	32
7.1.1 V _k -tidens effekt	32
7.1.2 R _h -värdets effekt	32
7.1.3 Samspelseffekten	33
7.2 Förslag på fortsatt arbete	33
8 Litteraturlista	34
9 Bilaga 1	35
9.1 Huvudeffekter, faktorförsök 1	35

10 Bilaga 2

37

10.1 Beräkning av Referensintervall för test 1

37

1 Bakgrund

Gislaved Gummi AB är ett globalt företag som tillverkar gummiblandningar, packningar och profiler. Kunderna till GGAB vill att längdspridningen hos deras packningar skall minskas. Företaget har som mål att alla packningar som tillverkas i Gislaved Gummi AB får exakt samma längd. Verksamheten har under många år lagt stora resurser för att uppnå en mindre längdspridning. Trots stora ansträngningar har man inte kunnat få ut tillräckligt mycket information för att lösa det här problemet. Det var planerat att en 18 månaders projekt skulle utföras för att studera faktorer som misstänktes påverka längdspridningen i packningarna. Det skulle bli ett enormt stort projekt med flera examensarbetare och ett antal doktorer som skulle simultant utföra undersökningen. Inga studenter sökte till projektet. Efter två år sökte jag som examensarbetare till GGAB. GGAB ville att min undersökning skulle utgöra **mindre än 10 procent av projektet** eftersom det spände sig över ett stort område. Det fanns inga större förväntningar på min undersökning på grund av att mitt examensarbete utgjorde en så pass liten del av den originellt planerade projektet. Studien är den första i sitt slag hos GGAB och har en experimentell natur.

Eftersom det ansågs vara ett stort antal faktorer som bidrog till längdspridningen hos de olika packningarna, valde företaget Gislaved Gummi AB att använda endast två faktorer som skulle undersökas i examensarbetet. De valda faktorerna blev gummimaterialets rh-värde och vulkaniseringstiden i packningspressarna. Rh-värdet är vulkaniseringshastigheten av gummit och vulkaniseringstiden är den tid det tar för gummit att få ett elastisktillstånd i packningspressarna. Dessa faktorer valdes för att de förväntades ha störst inverkan på längdspridningen.

Undersökningen fick också begränsas till en sorts packning för att Gislaved Gummi AB tillverkar ett stort antal olika packningar. I undersökningen användes packningen A15B, som är en medelstor packning. Materialet i packningen valdes till att bli en gummiblandning som har namnet NBR, en förkortning till nitrilgummi. Denna gummikvalité är den mest använda i GGAB:s produktion.

2 Syfte

Syftet med det föreliggande examensarbete är att försöka ta reda på om gummimaterialets rh-värde och vulkaniseringstiden i packningspressarna har någon påverkan på packningarnas längdspridning. Denna undersökning använder sig av ett statistiskt verktyg som har namnet ”statistisk försöksplanering”. Undersökningen utforskar också om effekterna av de valda faktorerna samspelar, det vill säga sam- eller motverkar varandras effekter.

3 Metod

Arbetsmomenten i undersökningen kan delas in i fyra huvuddelar; förstudie, val av försöksplanerings metod, utförandet av tester och analys av testresultaten.

I förstudien ingick ett beslutsmöte för att diskutera experimentella förutsättningar och välja de faktorer som skall undersökas i projektet. Vid mötet var utvecklingschef Bengt Blom och teknisk chef Sven-Olov Kronaas och professor Jan-Erik Ståhl med. Det bestämdes också vad för sorts packning och packningsmaterial som skulle användas i undersökningen. Resultat variabeln hade redan bestämts till packningens längdspridning.

I val av försöksplanering metod valdes ett faktorförsök på två nivåer, bara två faktorer ingick i försöket, rh-värdet och vulkaniseringstiden, som GGAB var intresserad av att undersöka.

Under tredje etappen utfördes experimentella tester. Testerna bestod av tre delar; extrudering, pressning och mätning av packningarna. I extrudering producerades det fram gummisträngar som senare pressades ihop till packningar. I pressning pressades det ca 580 packningar i båda testerna och slutligen i mätningdelen mättes packningarna i kontrollrummet i fabriken för att erhålla mätdata av packningarnas längder.

I analysdelen analyserades längdvärdena av packningarna med hjälp av ett verktyg som kallas ”referensintervall metod”. I slutet av analysdelen presenteras resultaten av de valda faktorers effekter på ett talplan.

4 Utredning

Enligt Gislaved Gummi AB har det gjorts stora ansträngningar med att försöka identifiera de faktorer som påverkar deras packningars längdspridning. Avsikten med den här undersökningen är att ta reda på om rh-värdet i packningsmaterial och vulkaniseringstiden i pressarna har någon som helst påverkan på packningarnas längdvariation. Eftersom Gislaved Gummi AB tillverkar ett stort antal olika typer av packningar bestämdes det av GGAB att denna studie bara skulle innefatta en sorts packning med ett specifikt gummi typ. Packningen har namnet A15B och är gjord av gummi typen NBR, också kallat nitrilgummi. Denna packning är en medelstor sådan i Gislaved Gummi AB:s sortiment och materialet är den vanligaste gummi typen som används i GGAB.

4.1 Teori

Teoridelen av rapporten är avsedd att vara vägledande för slutsatsdelen av rapporten. För att kunna göra en rätt bedömning av resultaten bör vissa grundläggande begrepp förklaras. Dessa är:

- Polymerer
- Vulkanisering
- Vulkaniseringsgrad, vulkaniseringstid och rh-värde. Här redogörs vad som händer med polymerers materialegenskaper efter vulkaniseringprocess, även effekten av minskad rh-värde i gummi redogörs.
- Layout av packningsproduktion
- Faktorförsök; undersökningsmetod

4.1.1 Polymerer

Polymerer är långa organiska molekyler. Dessa molekyler består i sin tur av kortare bitar. De korta bitarna som utgör polymeren kallas för monomerer. Genom en process som heter polymerisation slås flera monomerer samman till en enda molekyl. **Poly** är uttryck för flera och **mer** för enhet/del/bit. [4, 7, 8]

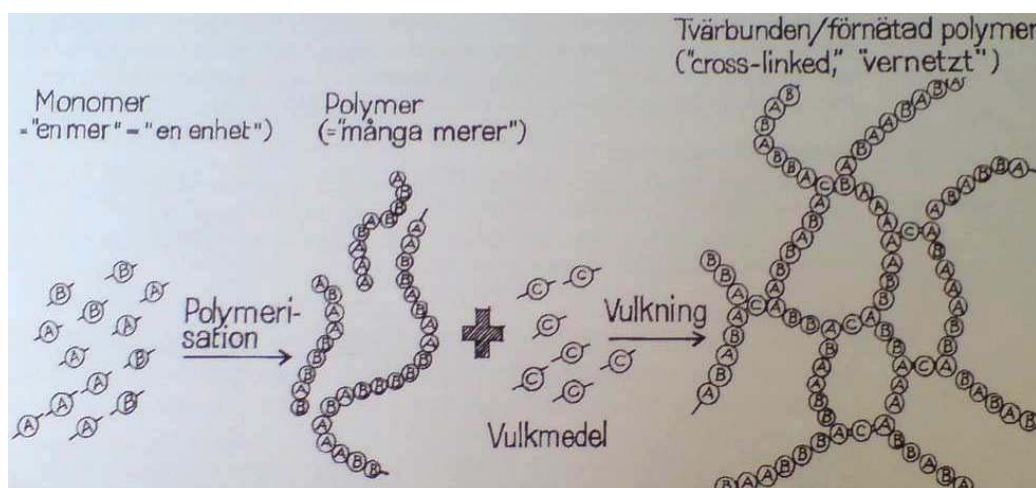
Gummi

I polymerfamiljen ingår ämnen som har namnet elastomerer, ett alternativt namn för elastomerer är gummimaterial [4, 5, 7, 6]. Det är en grupp av polymerer med högt elastiskt töjningsförmåga. En elastomer kan i rumstemperatur töjas till sin dubbla längd för att sedan återgå till sin originallängd vid avlastning. Elastens förmåga att kunna gå tillbaka till sitt originallängd beror på att de långa molekykedjorna i polymeren är bundna till varandra i vissa platser [4, 5, 7]. Det undersökta gummimaterialet i examensarbetet heter nitrilgummi, NBR, som är den mest använda gummimaterialet i GGAB produktion.

4.1.2 Vulkanisering

Vulkanisering är ett centralt begrepp inom det här arbetet och inom gummiindustrins tillverkningsprocesser. Vulkanisering innebär att det bildas tvärbindingar mellan de långa molekylkedjorna i en polymer tills att det uppstår en tredimensionell struktur.

Tvärbindingarna erhålls, ofta, genom att blanda polymeren med en katalysator och därefter utsätta blandningen för en värme mellan 100-200 grader Celsius [4]. Vulkaniseringstemperaturen för den packningstyp och det packningsmaterial som användes i min undersökning hölls konstant på 175 grader och varje packning i undersökningen pressades i samma temperatur. Temperaturen hölls konstant för att den termiska kontraktionen i materialet är **olika för olika temperaturer**, genom att ha **samma presstemperatur** hindrades packningarnas längder från att påverkas av temperaturvariationer i pressen.

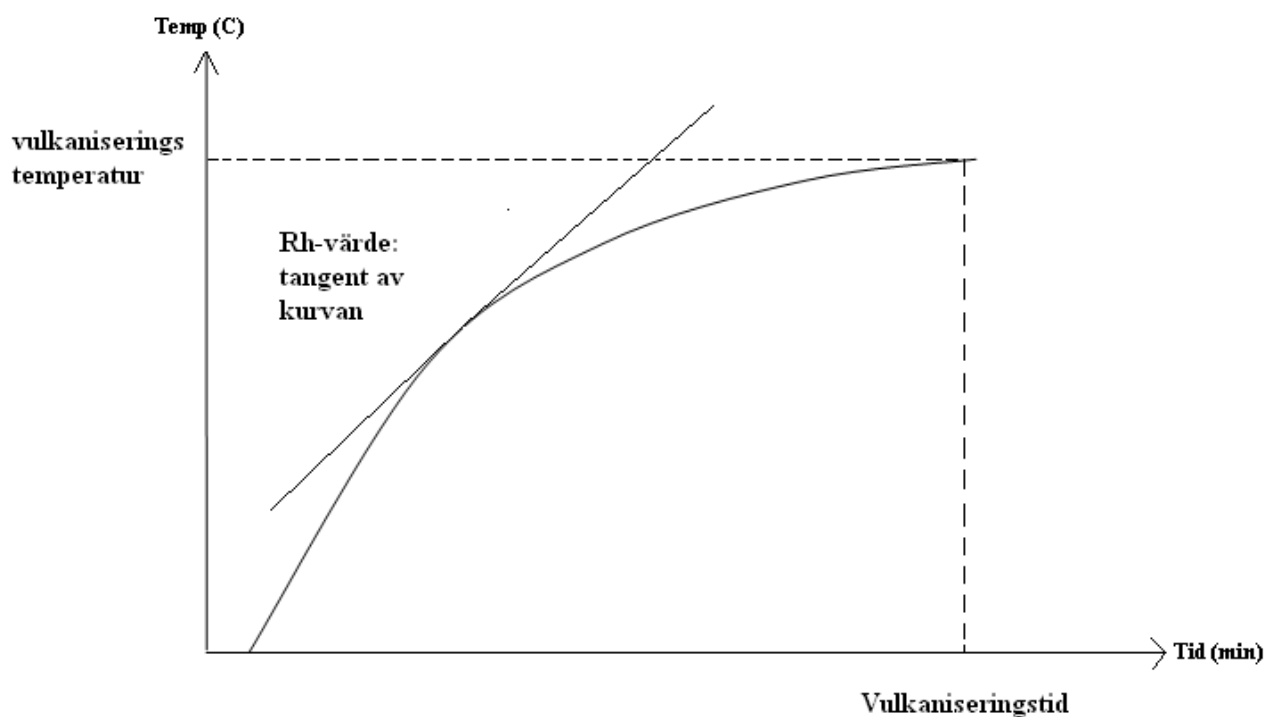


Figur 1 En grov beskrivning av vulkaniseringsförloppet [4]

Under vulkaniseringsförloppet bildas tvärbindingar mellan polymerkedjorna, dessa tvärbindingar ger gummit dess elastiska karaktär genom att blockera polymerkedjorna från att glida över varandra under fysisk stress [4]. En viktig punkt som berör min undersökning är hur antalet tvärbindingar påverkar krympningen i gummimaterialet. Enligt [4, 7] gör vulkaniseringsprocessen att materialet får dimensionell stabilitet och **reducerar dess krypning**. I GGAB rådde samma antagande om vulkaniseringen och vulkaniseringsgraden av gummit. Enligt Bengt Blom, materialutvecklingschef på GGAB, låser vulkaniseringsprocessen materialet i sin pressade form och minskar krympningen i packningarna, därmed minskar längdvariationen.

4.1.3 Vulkaniseringsgrad

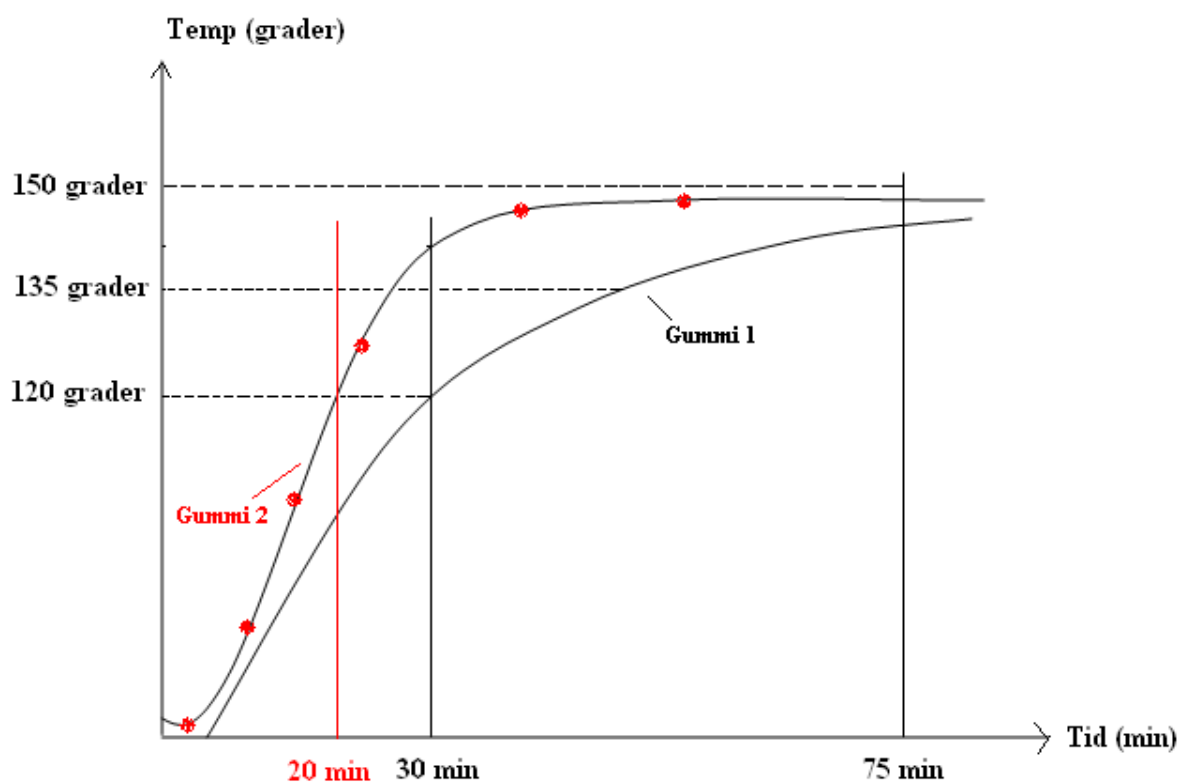
Vulkaniseringsgraden är en beteckning för hur mycket gummimaterialet vulkaniserat i valda packning och denna anges i procentenhet. Ett speciellt Excel-program används för att räkna vulkaniseringsgraden. Ett antal olika parametrar om material, packningstyp och pressprocessen förs in i programmet. Rh-värdet av gummit och vulkaniseringstiden i pressarna ingår i dessa parametrar och är undersökta i studien. I nedanstående figur beskrivs vulkaniseringsförloppet av gummi. Rh-värdet är **tangenten** av vulkaniseringskurvan och representerar **vulkaniseringshastigheten** hos gummit, enligt Bengt Blom GGAB. I figur 2 illustreras vulkaniseringshastigheten som tangenten av kurvan.



Figur 2 Vulkaniseringskurva för gummi, representation av rh-värde och vulkaniseringstid, Bengt Blom materialutvecklingschef på GGAB

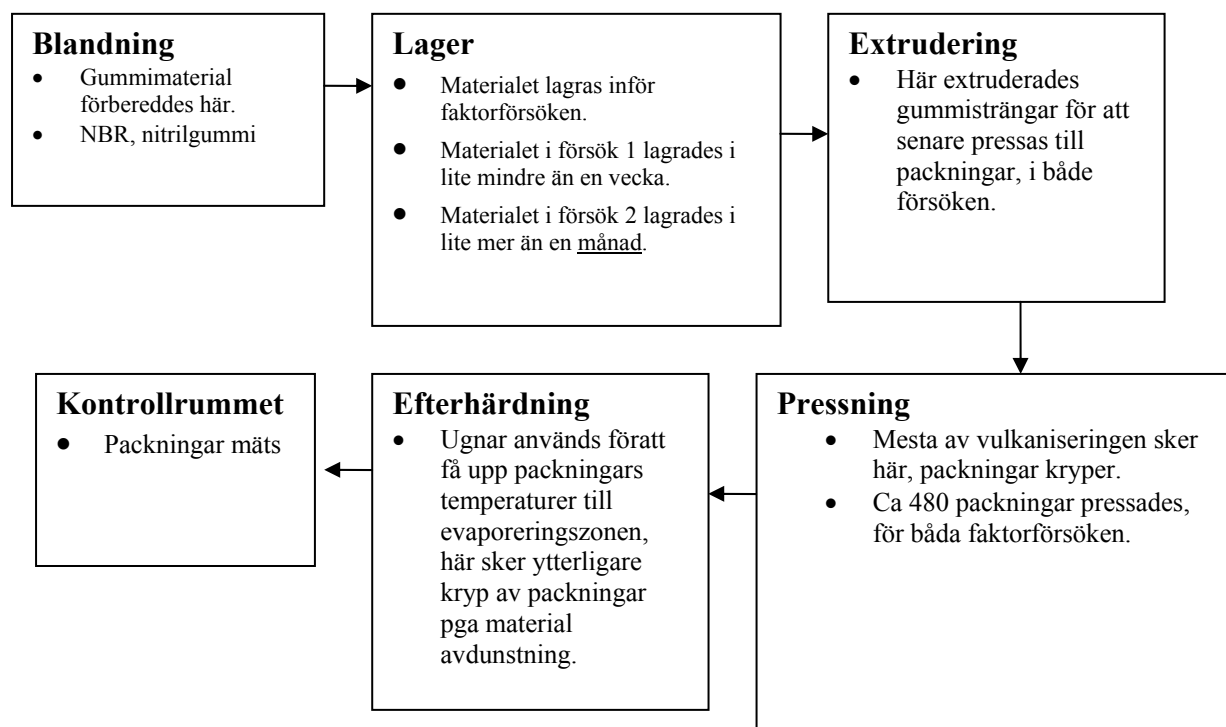
Det kan observeras i figur 2 att ju längre vulkaniseringstiden är desto högra blir vulkaniseringsgraden. **Lutningen** av tangenten är ett mått på **rh-värdets storlek**.

Enligt Bengt Blom, materialavdelningschef på GGAB, är rh-värdet av gummimaterial en egenskap som varierar mellan olika gummiblandningar, även om blandningarna består av samma gummityp. En annan observation eller antagande som har gjorts av Bengt Blom är att gummimaterialens rh-värde minskar under **längre lagringsperioder**, vilket innebär att ju längre materialet får vänta i lager desto **långsammare vulkaniseras** det. I nedanstående figur illustreras två olika gummiblandningars vulkaniseringshastigheter. Efter att packningar har pressats i pressen förs dem vidare till en härdugn för att härdas. I härdugnar kokas peroxidmedeln (katalysatorn i vulkaniseringsprocessen) bort, detta resulterar i ett ytterligare kryp då materialning från packningen avdunstar, enligt Bengt Blom. Denna avdunstning kallas för **evaporering**. Man kan se i nedanstående figur två olika gummiblandningar från samma gummityp med olika rh-värden nå upp till **evaporeringszonen**. Zonen är temperaturintervallet mellan 120-135 grader Celsius. Det är i evaporeringszonen som peroxidkatalysatorn kokar bort. Enligt Bengt Blom, kan rh-värdevariation i gummi också påverka längdvariationen hos packningar. Detta för att gummi med ett lägre rh-värde stiger saktare upp till evaporeringszonen, vilket resulterar i mer avdunstning av material i packningen och mer krypning.



Figur 3 En jämförelse av två olika vulkaniseringskurvor med olika rh-värde

4.1.4 Produktion layout



Figur 4 Produktionslayout, stegen i produktionen/undersökningen

I ovanstående layout kan man se flödet av aktiviteter som sker i produktionen hos GGAB, figuren illustrerar också själva undersökningen eftersom studien bygger på det här flödet. Observera lager rutan och hur länge materialet för försök 2 fick vänta i lager.

Lager

Här lagrades gummiblandningarna för att senare användas i extrudering av gummisträngar till pressning. Som tidigare nämnt av Bengt Blom, det antas att gummiblandningens rh-värde minskar med tiden, alltså ju längre den får lagras.



Figur 5 Lager i GGAB

Extrudering

Gummisträngar måste sprutas ut för att packningar ska kunna pressas. Detta åstadkoms genom extrudering, också kallad strängsprutning. Maskinen som producerar gummisträngarna kallas för extruder, dess uppbyggnad liknar en pump som både malar ner och pumpar gummimaterial mot ett munstycke i slutändan av pumpen. Pumpningen och nermalningen av gummimaterialet utförs av en långsgående skruv i extrudern. Munstycket har en öppning med varierande geometri och storlek för den önskade tvärsnitt som man vill uppnå hos gummisträngarna [4, 9]. Enligt Bengt Blom, antas ett antal parametrar vara påverkande av längdvariationen hos packningar vid extrudering. Det är varvtalet i skruven som pumpar fram gummimaterialet mot munstycket, extruderingstemperaturen och munstyckets profil men dessa parametrars effekter uteslöts från undersökningen genom att ha förbestämda parameternivåer som hölls konstanta under försökens gång.



Figur 6 En av två extrudrar i GGAB

Pressning

Efter att gummisträngarna har sprutats ut och kapats i rätta längder placerades dem i formpressarna för att pressas till packningar. Packningarna pressades under konstant temperatur, i 175 grader Celsius.

Efterhärdning

Packningarna efterhärdades i speciella härdugnar. Produkten värms upp till evaporeringszonen där peroxidmedeln kokar bort och ytterligare krypning sker i materialet. Packningarna efterhärdas för att kunna slutföra resterande steg i vulkaniseringsprocessen.

Härdningstemperaturen och – tiden hölls konstant för alla packningar i undersökningen; 6 timmar och i 150 grader Celsius, detta för att undvika längdvariation på grund av olika härdtemperaturer.

Kontrollrummet

Den undersökta packningstypen A15B: s längddata fås från två förbestämda längdintervaller. Intervallens gränser utgörs av C-C punkter. Intervallen finns på båda långsidorna av packningen och kallas A respektive B sidan.



Figur 7 Den undersökta packning A15B och dess mätintervaller, sida A och B; inte skalenligt.

4.1.5 Undersökningsmetod

Verktyget som används i den här undersökningen är en statistisk försöksplanerings metod. Det är ett statistiskt verktyg och används för att få ut så mycket väsentlig information som möjligt till en begränsad kostnad [2]. Enligt [1] är det viktigt att alla steg i försöket planeras, detta gör att insamlandet av datamaterialet utförs korrekt vilket reflekteras i försökets kvalitet. Pauli [1] nämner att metoden är kostnadseffektiv och kan användas på de flesta nivåerna i ett företag.

Inom Statistisk försöksplanering finns det ett flertal metoder att välja emellan. Varje metod är anpassad för en specifik situation med ett specifikt antal faktorer som man vill undersöka. I det här examensarbetet används faktorförsök på två nivåer som innehåller två faktorer. Enligt [1] representeras nivåerna i ett sådant försök med 2^k . Tecknet "k" symboliserar antalet faktorer som varierar i undersökningen, vilket i detta fall är två stycken.

Enligt [1] är faktorförsök på två nivåer det mest utförda försöken i praktiken. Detta för att metoden är kostnadseffektiv och för att ett litet antal prov görs per faktor. I [1] nämns också att det finns en ytterligare anledning till som gör metoden populär vilket är enkelheten av att analysera och tolka resultaten från metoden. Man får ut mycket information för en liten kostnad och kort tid. I förstudiens två huvudmöten motiverade man att detta var GGAB:s anledning till att välja just den här metoden för undersökningen. Enligt [1] varierar faktorerna i två nivåer, det blir möjligt genom att sätta in antal faktorer i formeln 2^k som ger $2^2 = 4$ prover.

Sedan bestäms och definieras de höga och låga nivåerna på båda faktorerna [1]. Nivåerna bestämdes under förstudien av arbetet med hjälp av Bengt Bloom, min handledare i Gislaved Gummi AB. Nivåerna på faktorerna ser ut enligt följande:

Tabell 1 Låg respektive hög nivåerna av de undersökta faktorer

FAKTOR	Låg nivå (-)	Hög nivå (+)
Rh-värdet (Rh)	26,6 dNm/min	30,7 dNm/min
Vulkaniseringstiden (Vk)	1 minuter och 21 sekunder.	3 minuter och 9 sekunder

I [1] har varje faktor fått sin egen beteckning, i det här arbetet är beteckningarna (Rh) och (Vk). Faktorerna har också, var för sig, fått två nivåer. De är en hög nivå som betecknas med (+) och en låg nivå som betecknas med (-). Denna kodning är en fördel då det underlättar beräkning av faktorernas effekter [1].

I efterhand sätts dessa beteckningar i ett ”försöksplan”. Det är en tabell och här finns alla nivåkombinationer av de undersökta faktorerna. Eftersom detta försök är en två-faktor försök blir det 4 stycken prov [1], ett för varje nivåkombination per faktor.

Prov(nivåkombination)	Rh	Vk
1	(-)	(-)
2	(+)	(-)
3	(-)	(+)
4	(+)	(+)

Figur 8 Provordningen i försöksplanet kallas för standardordning, [1]

I [1] står det att ordningen av proven i försöksplanet kallas för standardordning se figur 8. Första kolumnen i standardordningen börjar med ett minustecken och sen kommer vartannat plustecken och vartannat minustecken. I kolumn nummer två startar man också med ett minustecken och här efterkommer tecknen två och två.

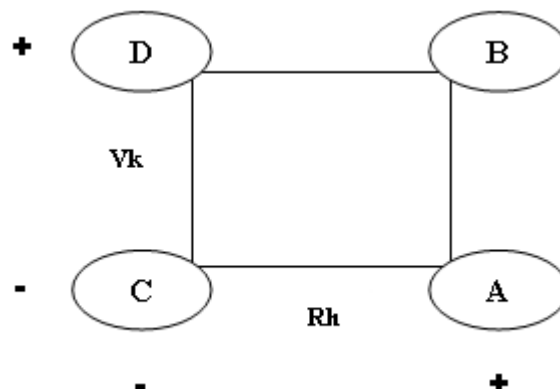
Standardordningen på proven bör randomiseras. Enligt [1] betyder randomisering att välja en ny slumpmässig ordning på provföljden i försöksplanet. Det står också att randomiseringsmetod kan vara en enkel sådan, till exempel som att skriva siffrorna 1-4 på fyra papperslappar, blanda dem och sen låta någon dra upp lapparna i en ny ordning. Att använda datorer kan också vara ett alternativ för att randomisera provordningen [2, 1, 3]. I [1] står det att det är viktigt med randomisering för att den statistiska analysen är starkt kopplad till metoden. Just i det här försöket använde jag mig av den enkla formen av randomisering (med lappar) och tillät en av avdelnings chefer i GGAB dra upp den nya ordningen för proven.

I bok [1] står det att efter försöksplanet har ställts upp utförs försöket. Enligt [1], en viktig del av arbetet är att kontroll över alla moment under försöket. Man skall observera allting som kan ha en påverkan över resultaten. Det är viktigt att låta en och samma person göra mätningarna av slutresultaten. Detta för att utesluta onödiga mätfel som kan uppstå pga olika personers mätsätt. Undersökningen i GGAB utfördes också på samma sätt för att minska risken för störningar av slutresultatet.

Prov	Rh	Vk	Resultat, längd av pack.
3	(-)	(-)	C mm
1	(+)	(-)	A mm
4	(-)	(+)	D mm
2	(+)	(+)	B mm

Figur 9 Ett exempel på en randomiserad försöksplan, från [1]

Resultat från en randomiserad försöksplan kan illustreras med en fyrkant eller en kub beroende på antal faktorer som undersöks [1, 3]. En undersökning med två faktorer illustreras med en fyrkant. Hörnen av fyrkanten symboliserar de fyra olika nivåkombinationerna [1].



Figur 10 I fyrkantens hörnor ställs provens resultat

Det skrivs i [1, 3] att efter resultaten har illustrerats grafiskt på fyrkanten, huvudeffekten av faktorerna bör räknas. Det skrivs att huvudeffekten av en faktor representerar den genomsnittliga effekten som erhålls då nivån av faktorn höjs från låg till hög. I [1] huvudeffekt beteckningen är l . Huvudeffekterna här har beteckningarna l_{Rh} och l_{Vk} .

I fyrkanten kan man se att det finns två resultatvariabler, det vill säga packningslängder, då rh-värdet är på hög nivå och två resultatvariabler då rh-värdet är på låg nivå [1]. Med hjälp av de fyra resultatvariablerna, $D + C$ och $B + A$, skapas två medelvärden. Ett medelvärde skapas för den låga nivån av Rh-värdet och en för den höga nivån.

Då Rh-värdet är på hög nivå erhålls medelvärdet:

$$(B \text{ mm} + A \text{ mm}) / 2 = Y \text{ mm}$$

Då Rh-värdet är på låg nivå erhålls medelvärdet:

$$(D \text{ mm} + C \text{ mm}) / 2 = X \text{ mm}$$

Differensen mellan medelvärdena ovan ger Rh-värdets Huvudeffekt:

$$l_{Rh}: Y \text{ mm} - X \text{ mm}$$

Huvudeffekten för Vk-tiden, l_{Vk} , kalkyleras på samma sätt.

En annan del av försöket är att ta reda på om det existerar ett samspel mellan faktorerna [1, 3,2]. För att det ska kunna existera ett samband mellan Rh-värdet och Vk-tiden måste deras effekter påverka varandra. Ett samspel existerar om **effekten av ökad rh-värde** är orsakad av **hur långt eller kort Vk-tiden** är. Däremot om effekten av **ökad rh-värde** är **opåverkad av vk-tidens** nivå innebär det att det **inte** finns **ett samspel**.

Enligt exemplet i [1] samspelet beräknas fram först genom att räkna ut effekten av **ökad Rh-värde** när **Vk-tiden** är lång. På samma sätt räknas effekten av **ökad Rh-värde** när **Vk-tiden** är kort.

I exemplet [1] står det att om effekterna är lika varandra i storlek indikerar det på att det inte finns ett samspel. Vare sig om de är lika i storlek eller inte, bör samspelseffekten beräknas för att verifiera detta. Formeln för samspelseffekten består av halva differensen mellan de erhållna effekterna. Samspelseffektens beteckning är I_{RhVk} .

Effekten av ökad Rh-värde då Vk-tiden är lång:

$$B - D = \text{Effekt}(1)$$

Effekten av ökad Rh-värde då Vk-tiden är kort:

$$A - C = \text{Effekt}(2)$$

Formeln och beräkning av samspelseffekten:

$$I_{RhVk}: [\text{Effekt}(1) - \text{effekt}(2)] / 2$$

Exemplet i [1] visar att om samspelseffekten ligger nära noll det finns inget samspel mellan faktorernas effekter. Boken säger också att samma beräkning kan göras med utgångspunkt från, i det här fallet, Vk-tid effekten då Rh-värdet är på låg respektive hög nivå.

Faktorförsogets resultat i GGAB beräknades på samma sätt och resulterade i tre huvud effekter:

Rh-värdets huvudeffekt: I_{Rh}

Vk-tidens huvudeffekt: I_{Vk}

Samspelseffekten, som också har huvudeffekts beteckning: I_{RhVk}

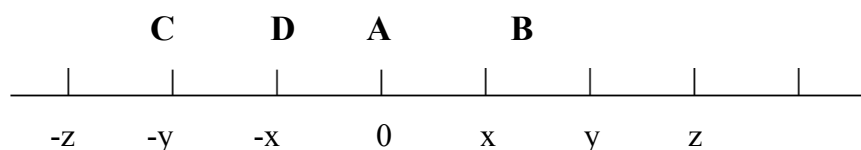
Fyrkanten som framgår i figur 3 används för att rita samspelsdiagram. För varje nivå av Rh-värdet markeras två längdvärden. En markering görs när Vk-tiden är kort och en när Vk-tiden är lång. Markeringar som får samma plus eller minus tecken binds ihop med en rät linje. Diagrammet tolkas på så sätt att om linjerna är parallella existerar inget samspel. Linjer som inte är parallella tyder på att det finns något slag av samspel. Figur 6 är ett exempel på ett samspels diagram.

4.1.6 Analysmetod

Resultatet av undersökningen analyserades med hjälp av ett referensintervall. I metoden bildas ett intervall med två kritiska gränser som de erhållna huvudeffekterna jämförs med [1,2]. En referensfördelning, en t-fördelning i det här fallet, användes för att bestämma gränserna av intervallet. Effekterna markeras på intervallet, om en huvudeffekt ligger utanför en kritiskgräns sägs den vara signifikant. En signifikant huvudeffekt innebär att den sannolikt inte är kopplad till slumpen. I arbetet placerades huvudeffekterna; I_{Rh} , I_{Vk} , I_{RhVk} , på referensintervallet för att se om de var signifikanta.

För att kunna bilda en referensintervall måste man ha den slumpmässiga spridningen i försöket [1]. Det kallas också för *försöksfelet*. Försöksfelet erhålls genom att varje nivåkombination i försöksplanet upprepas en gång till. I det här examensarbetet utfördes två stycken faktorförsök, under varje faktorförsök upprepades nivåkombinationer en gång till för att få försöksfelet. Eftersom alla nivåkombinationerna, också kallat proven, har utförts två gånger innebär det att man kan göra en *sammanvägd stickprovsvarians*. Stickprovsvariansen fås genom att jämföra observationerna med varandra. Ett exempel på hur en referensintervall utförs:

Efter att huvudeffekterna räknats ställs dem upp på en tallinje.



Variansen av enskilda stickprovens, nivåkombinationers, varianser räknas i förväg för att sättas in i formeln. Sedan räknas försöksfelet (s_p) genom att dra kvadratroten ur sammanvägda stickprovsvariansen, som har beteckningen s_p^2 . Sammanvägd stickprovsvariansens formel är:

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2 + \dots + (n_k - 1)s_k^2}{(n_1 + n_2 + \dots + n_k) - k}$$

$n_1, n_2 \dots$ betecknar olika stickprovstorlekar, nivå kombinationers(provens) storlekar.

$s_1^2, s_2^2 \dots$ är stickprovens, nivå kombinationers, varians.

k = antal stickprov

Försöksfelet blir:

$$s_p = \sqrt{s_p^2}$$

Försöksfelet används för att ta fram *medelfelet* av effekterna. Medelfelet, S_{effekt} , representerar standardavvikelsen av en effekt och har formeln:

$$S_{\text{effekt}} = \frac{2Sp}{\sqrt{N}}$$

N = totala antalet prover

Medelfelet ingår i formeln som ger de kritiska gränserna av referensintervallet. Innan formeln för de kritiska gränserna kan användas måste också *frihetsgraden* och *signifikansnivån* bestämmas. Frihetsgraden betecknas med bokstaven v .

Formel för *Frihetsgraden*:

$$(n_1 + n_2 + \dots + n_k) - k = v$$

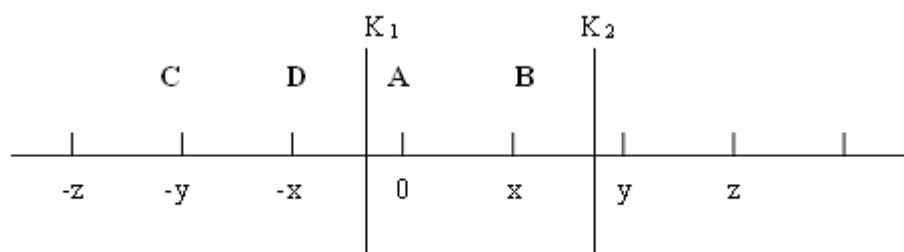
Signifikansnivå är graden av säkerhet man vill ha i uppskattningen av referensintervallets kritiska gränser. Signifikansnivån betecknas α . Det är risken för att bedöma en effekt som signifikant medan det egentligen är framkallad av slumpen. I arbetet valdes signifikansnivån till 5 %. Det betyder att risken för att dra en felaktig slutsats i undersökningen låg på fem fall av hundra. Signifikansnivå och frihetsgrad används för att välja rätt t-värde från en t-tabell. T-värdet sätts tillsammans med försöksfelet in i formeln nedan för att bestämma gränserna.

Formeln för kritiska gränser:

$$K_1 = - t_{v,\alpha} \cdot S_{\text{effekt}}$$

$$K_2 = + t_{v,\alpha} \cdot S_{\text{effekt}}$$

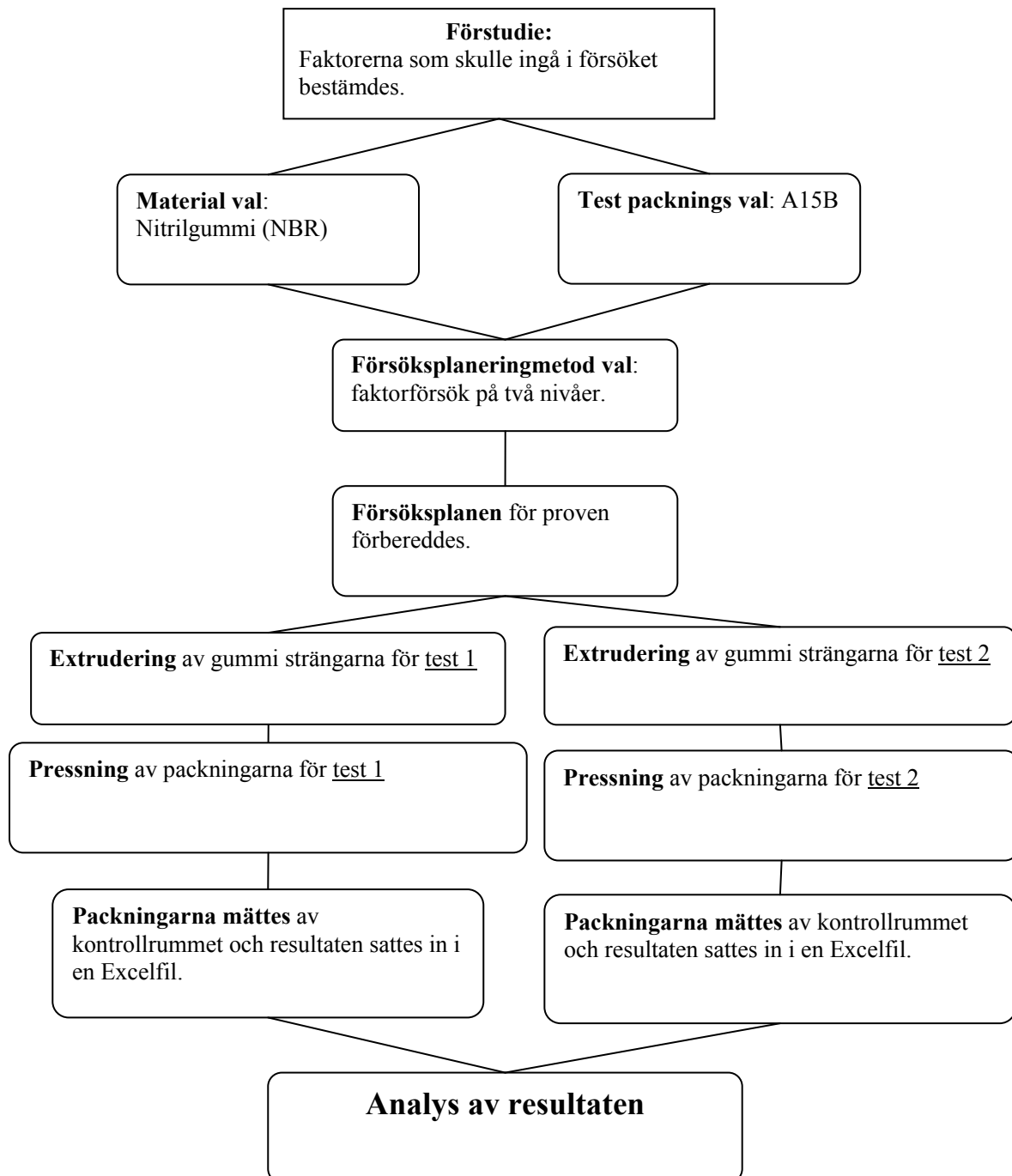
Slutligen markeras gränserna på talplanet för att se om någon eller några av de valda effekterna hamnar utanför referensintervallet.



Figur 11 Exempel på ett referensintervall

5 Experiment

5.1 Aktivitetsordning



Figur 12 Illustrerar aktivitetsordningen i projektet

5.1.1 Förstudie

I huvudmötet bestämdes att Rh-värdet av gummit och vulkaniseringstiden i packningspressen skulle undersökas. I mötena bestämdes även materialvalet och packningstyp. Materialvalet var nitrilgummi och packningstypen blev A15B. Valen motiverades med att just det här gummit och packnings typ var de mest producerade i GGAB. Antalet faktorförsök beslutades till att bli två stycken.

5.1.2 Försöksplaneringsmetod

Ett faktorförsök på två nivåer valdes som undersökningsmetod. Företagets utvecklingschef Bengt Blom valde metoden.

5.1.3 Försöksplanen

Jag satte upp ett försöksplan för varje faktorförsök. Andra omgången i försöksplanet är en upprepning av första omgången, med randomiserad ordningsföljd. I försöksplanet fanns totalt åtta prov. En kassation innebär skrotning av en packning. Varje packning ger två mätvärden.

Försöksplanet för **faktorförsök 1**:

Tabell 2 Illustration av försöksplan

Omgång 1	Rh-värdet	Vulkanisering tid	Antal mätvärden
Prov 4, nivåkombination	(+)	(+)	60
Prov 2, nivåkombination	(+)	(-)	60
Prov 1, nivåkombination	(-)	(-)	60
Prov 3, nivåkombination	(-)	(+)	60

Omgång 2			
Prov 2, nivåkombination	(+)	(-)	60
Prov 1, nivåkombination	(-)	(-)	60
Prov 3, nivåkombination	(-)	(+)	58, en kassation.
Prov 4, nivåkombination	(+)	(+)	52, fyra kassationer.

Försöksplanet för **faktorförsök 2**:

Försöksplanet ovan randomiserades igen för att användas i faktorförsök 2. Inga kassationer påträffades i det här försöket. Varje prov innehöll exakt 60 antal mätvärden.

5.2 Analys av resultaten

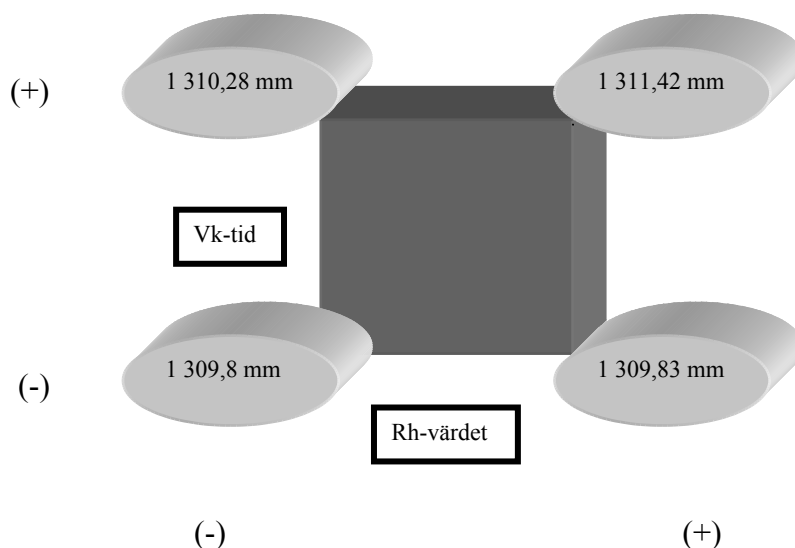
5.2.1 Faktorförsök 1

Nivåerna av Rh-värde och Vk-tid i faktorförsöket:

- Ett **högt** Rh-värde ligger på 30,7 dNm/minuter
- Ett **lågt** Rh-värde ligger på 26,6 dNm/minuter
- En **lång** Vk-tid ligger på 3 minuter och 9 sekunder
- En **kort** Vk-tid ligger på 1 minuter och 21 sekunder.

Tabell 3 Är en sammanställning av försöksplanet för faktorförsök 1. Båda omgångarna i försöksplanet har slagits samman till ett försöksplan

	Rh-värde	Vk-tid	Y ₁	Y ₂	Medellängd	Varians - S ²
prov 1 (tot.)	minus (-)	minus (-)	60 st	60 st	1 309,8 mm	1,657142857
prov 2 (tot.)	plus (+)	minus (-)	60 st	60 st	1309,825 mm	1,675
prov 3 (tot.)	minus (-)	plus (+)	60 st	58 st	1 310,28 mm	1,263001594
prov 4 (tot.)	plus (+)	plus (+)	60 st	52 st	1 311,42 mm	1,452944015



Figur 13 Medelvärdena av proven illustreras i fyrkantens hörnor. Fyrkanten används för att räkna huvudeffekterna och samspelseffekten.

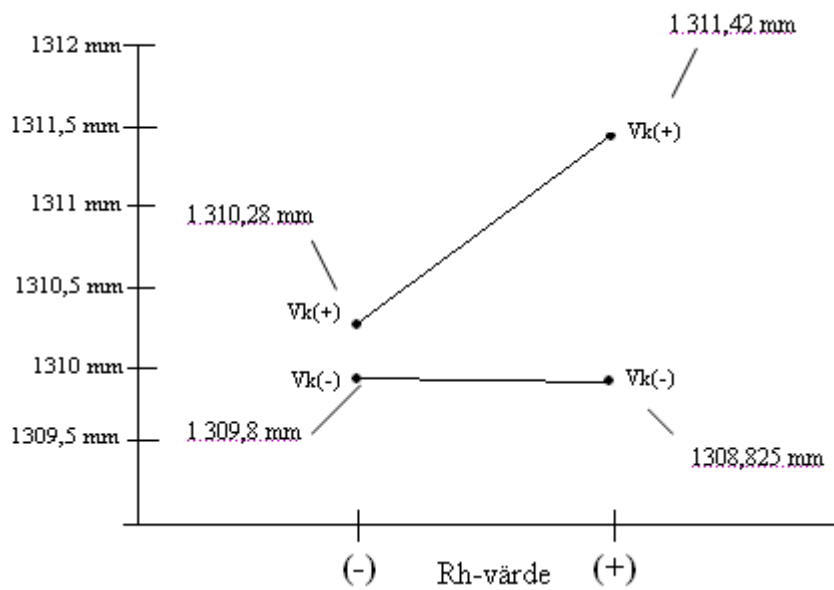
Erhållna huvudeffekter och samspelseffekt av faktor försök 1, (se bilaga 1)

Huvudeffekt av Rh-värde: $I_{rh} = 0,583 \text{ mm}$

Huvudeffekt av Vk-tid: $I_{vk} = 1,038 \text{ mm}$

Effekt av samspelet mellan Rh-värde och Vk-tid: $I_{rh,vk} = 0,5575 \text{ mm}$

Figur 14 visar samspelet mellan Rh-värde och Vk-tid i faktor försök 1.

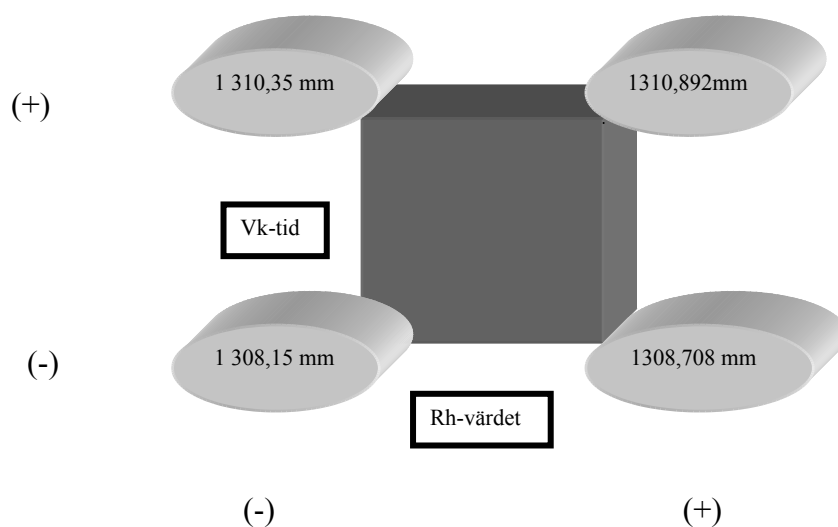


Figur 14 Samspelsdiagrammet för Rh-värde och Vk-tid i faktor försök 1

5.2.2 Faktorförsök 2

Tabell 4 Sammanställt försöksplan för faktorförsök 2

	Rh-värde	Vk-tid	Y ₁	Y ₂	Medellängd	Varians - S ²
prov 1 (tot.)	minus (-)	minus (-)	60 st	60 st	1 308,15 mm	3,0193
prov 2 (tot.)	plus (+)	minus (-)	60 st	60 st	1308,708 mm	2,6957
prov 3 (tot.)	minus (-)	plus (+)	60 st	60 st	1 310,35 mm	1,0361
prov 4 (tot.)	plus (+)	plus (+)	60 st	60 st	1310,892 mm	1,2234



Figur 15 Medelvärdena av proven illustreras i fyrkantens hörnor. Fyrkanten används för att räkna huvudeffekterna och samspelseffekten.

Erhållna huvudeffekter och samspelseffekt av faktorförsök 2

Huvudeffekt av Rh-värde, $l_{rh} = 0,55 \text{ mm}$

Huvudeffekt av Vk-tid, $l_{vk} = 2,192 \text{ mm}$

Effekt av samspellet mellan Rh-värde och Vk-tid, $l_{rh,vk} = - 0,008 \text{ mm}$

Inget samspelsdiagram gjordes för att samspelseffekten i faktorförsök 2 är väldigt nära noll, $l_{rh,vk} = - 0,008$

5.2.3 Referensintervall och signifikans av huvudfaktorer

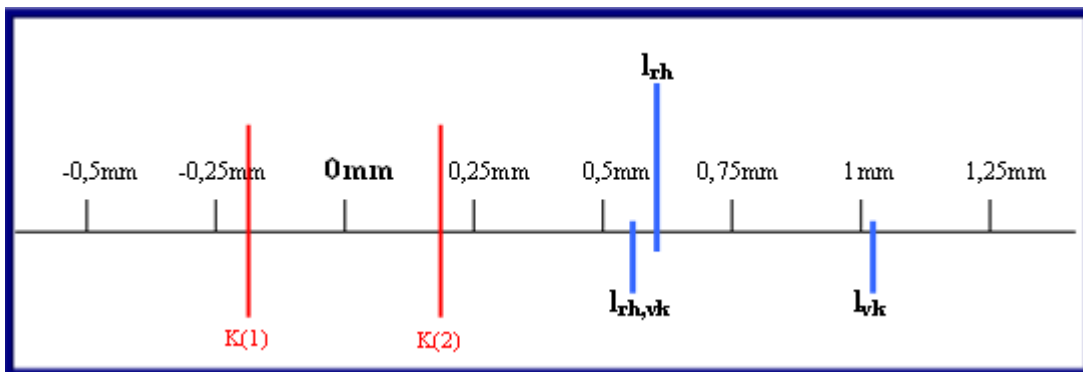
Faktorförsök 1

De kritiska gränserna för faktorförsök 1 är, (se bilaga 2)

$$K_1 = -0,22 \text{ mm}$$

$$K_2 = 0,22 \text{ mm}$$

Huvudeffekternas placeringar på referensintervallet av faktorförsök 1.



Figur 16 Referensintervallet och huvudeffekternas placering i faktorförsök 1

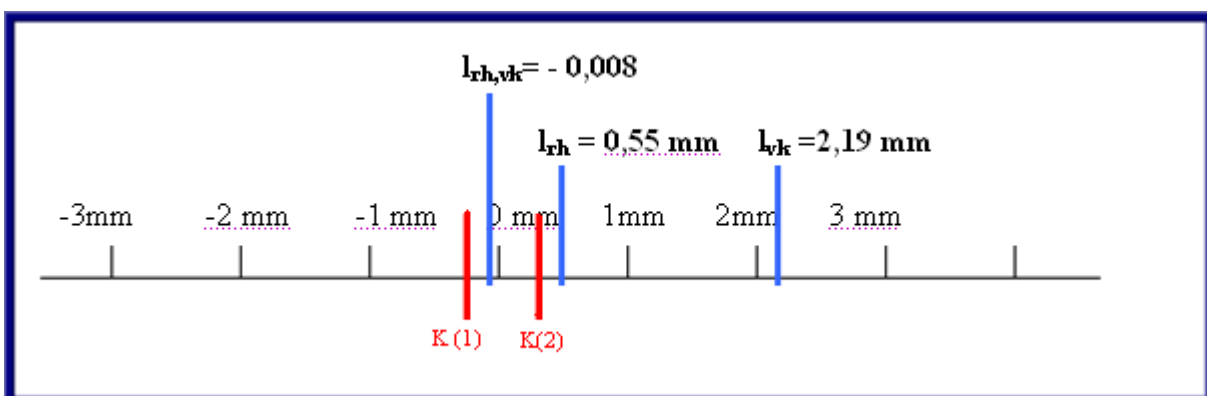
Faktorförsök 2

De kritiska gränserna för faktorförsök 2 är, (se bilaga 2)

$$K_1 = -0,2539 \text{ mm}$$

$$K_2 = 0,2539 \text{ mm}$$

Huvudeffekternas placeringar på referensintervallet av faktorförsök 2.



Figur 17 Referensintervallet och huvudeffekternas placering i faktorförsök 2

6 Resultat

Syftet med arbetet var att ta reda på om faktorerna Rh-värde och Vk-tid påverkade packningslängden och packningslängdspridningen. Det undersöktes också om ett samspel mellan faktorerna existerade. Två faktorförsök utfördes och resultaten analyserades.

6.1 Faktorförsök 1

I faktorförsök 1 erhöles huvudeffekterna och samspelseffekten:

- Effekten av rh-värdet blev **0,583 mm**
- Effekten av vk-tiden blev **1,038 mm**
- Effekten av samspelet blev **0,5575 mm**

Samspelsdiagrammet i försök 1 indikerar på ett samband eftersom linjerna inte är parallella, se figur 14.

6.2 Faktorförsök 2

I faktorförsök 2 erhöles huvudeffekterna och samspelseffekten:

- Effekten av rh-värdet blev **0,55 mm**
- Effekten av vk-tiden blev **2,192 mm**
- Effekten av samspelet blev **- 0,008 mm (praktiskt taget noll)**

Inget samspelsdiagram gjordes för att samspelseffekten i faktorförsök 2 är i princip noll, $l_{rh,vk} = - 0,008$

6.3 Analys av resultaten

I **faktorförsök 1** hamnade alla tre effekterna utanför referensintervallet. Samtliga effekter blev signifikanta, se figur 16.

I **faktorförsök 2** hamnade huvudeffekterna av Rh-värde och Vk-tid utanför referensintervallet och samspelseffekten blev kvar inom kritiska gränser. Huvudeffekter av Rh-värde och Vk-tid blev signifikanta i faktorförsök 2, se figur 17.

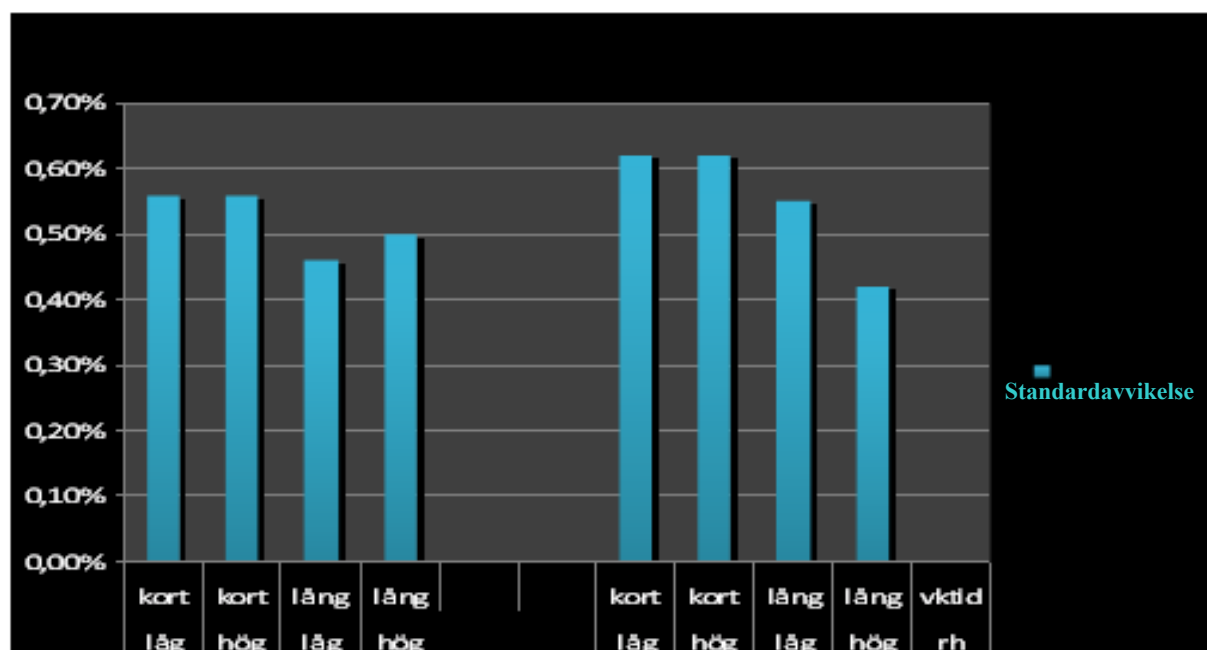
6.4 Erhållna standardavvikelser av nivåkombinationer

Standardavvikelse i **faktor försök 1**:

Tabell 5 Nivåkombinationers beräknade standardavvikelser, i blå text, faktor försök 1

Första omgång	Rh-värde	Vk-tid	Standardavvikelse
Prov 1, (1)	låg	kort	0,56 %
Prov 2, (1)	hög	kort	0,56 %
Prov 3, (1)	låg	lång	0,46 %
Prov 4, (1)	hög	lång	0,50 %
Andra omgång			
prov 1, (2)	låg	kort	0,62 %
prov 2, (2)	hög	kort	0,62 %
prov 3, (2)	låg	lång	0,55 %
prov 4, (2)	hög	lång	0,42 %

I diagrammet nedan kan man se att staplarna minskar i längd med längre Vk-tid. Längdvariationen hos packningslängder minskar med längre vulkaniserings tid.



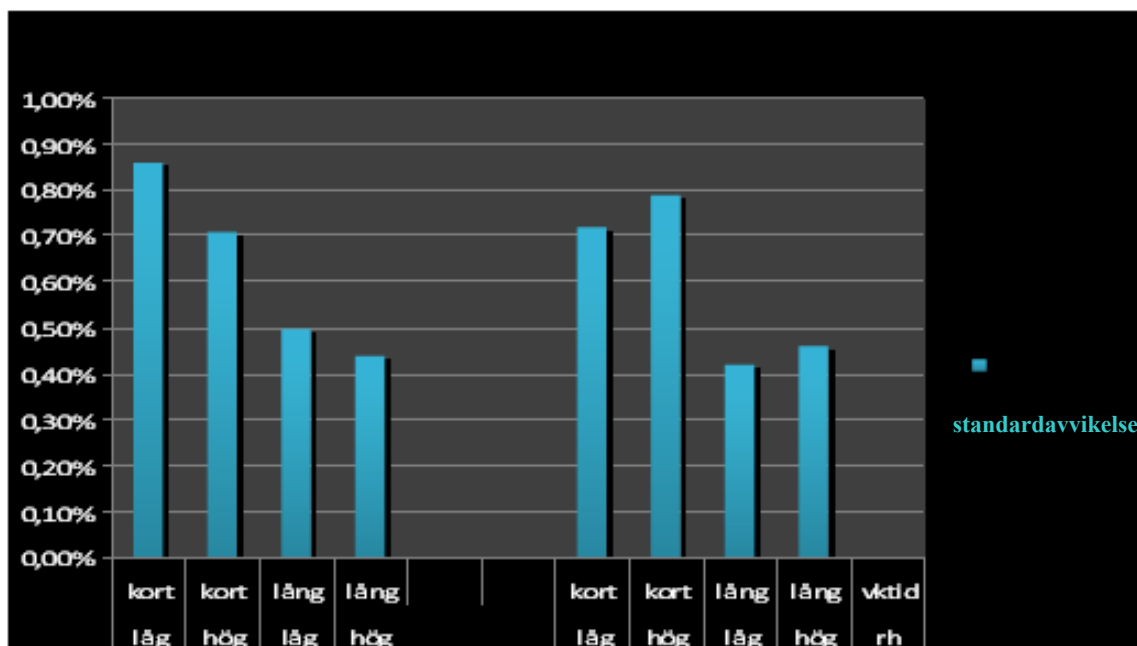
Figur 18 Nivåkombinationers standardavvikelser i diagramform, faktor försök 1

Standardavvikelse i faktorförsök 2:

Tabell 6 Nivåkombinationers beräknade standardavvikelser, i blå text, faktorförsök 2.

Första omgång	Rh-värde	Vk-tid	standardavvikelse
Prov 1, (1)	låg	kort	0,86 %
Prov 2, (1)	hög	kort	0,71 %
Prov 3, (1)	låg	lång	0,50 %
Prov 4, (1)	hög	lång	0,44 %
Andra omgång			
prov 1, (2)	låg	kort	0,72 %
prov 2, (2)	hög	kort	0,79 %
prov 3, (2)	låg	lång	0,42 %
prov 4, (2)	hög	lång	0,46 %

Samma tendens i faktorförsök 1 kan observeras i faktorförsök 2. Staplarna minskar i längd med längre Vk-tid.



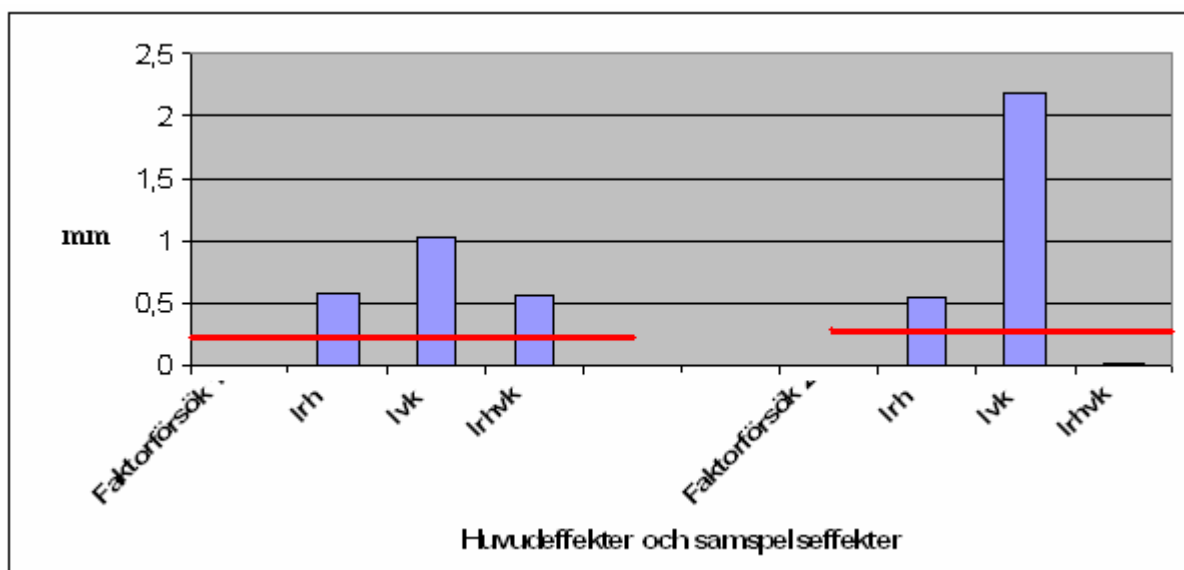
Figur 19 Nivåkombinationers standardavvikelser i diagramform, faktorförsök 2

6.5 Sammanställning av faktorförsök resultaten

Tabell 7 Huvudeffekterna i båda faktorförsöken

Faktorförsök 1	
<i>l_{rh}</i>	0,583 mm
<i>l_{vk}</i>	1,038 mm
<i>l_{rhvk}</i>	0,5575 mm
Faktorförsök 2	
<i>l_{rh}</i>	0,55 mm
<i>l_{vk}</i>	2,192 mm
<i>l_{rhvk}</i>	0,008 mm

I figur 22 man kan se en jämförelse av resultaten mellan **faktorförsök 1** och **faktorförsök 2**.



Figur 20 En jämförelse av faktorförsök resultaten

7 Slutsatser

Syftet med arbetet var att skaffa sig kunskap om Rh-värde och Vk-tid påverkade packningslängder och packningslängdspridningen. Det skulle också undersökas om det fanns ett samband mellan faktorernas effekter. Enligt referensintervall analyserna 1 och 2 är huvudeffekterna av Rh-värdet och Vk-tiden signifikanta. Båda effekterna befanns utanför valda kritiska gränser och hade påverkan av packningslängderna. Samspelseffekten i faktorförsök 1 befanns utanför intervallet och blev signifikant. Ingen samspelseffekt kunde upptäckas i faktorförsök 2.

7.1 De undersökta parametrars påverkan av packningars längder

En **förlängning** av vulkaniseringstid i faktorförsök 1 gav 1 mm längre packningar

En **förlängning** av vulkaniseringstid i faktorförsök 2 gav 2,2 mm längre packningar

En **förhöjd** nivå på rh-värdet i faktorförsök 1 gav 0,55 mm längre packningar

En **förhöjd** nivå på rh-värdet i faktorförsök 2 gav 0,55 mm längre packningar

7.1.1 Vk-tidens effekt

Vk-tidens huvudeffekt hamnade längst ifrån intervallets gränser på båda försöken. Därför tolkas vk-tiden som den mest signifikanta faktorn i undersökningen. Detta konfirmeras båda av Bengt Blom, utvecklingschef GGAB, och av teorin om vulkaniseringsprocessens påverkan av polymerer [4, 7]. Teorin säger att, se sida 9 och 10, vulkanisering minskar krypningen i polymerer. Detta kan observeras i undersökningens resultat som visar att en förlängd vulkaniseringstid ger längre packningar.

Standardavvikelsestaplarna i figur 18 och figur 19 visar tydligt att ju längre vk-tiden är desto mindre variation fås i packningslängderna. Den minskade längdvariationens koppling till en längre vulkaniseringstid kan också konfirmeras av teorin om vulkaniseringens effekt på polymerer. Materialets tendens att förändra dess form blir mindre genom vulkanisering, den blir mer dimensionellt stabil och låses i sin pressform mera under processen, vilket förklarar den mindre längdvariationen.

7.1.2 Rh-värdets effekt

I båda försöken ett högre rh-värde gav en förlängning på ca 0,55 mm av packningars längder. Detta kan kopplas till Bengt Bloms antagande, se sidor 10 och 11, om hur vulkaniseringshastigheten påverkar krypningen hos polymeren i härdugnen. Man kan se i figur 3 att polymeren med det högre rh-värdet (vulkaniseringshastighet) hamnar fortare i **evaporeringszonen**, också stannar den i zonen en kortare tidsperiod. Detta resulterar i en mindre avdunstning av material i packningen. Eftersom avdunstning är mindre i materialet förblir packningsmassan mindre påverkad av evaporation och ger mindre krypning hos produkten.

7.1.3 Samspelseffekten

I försök 1 upptäcktes en samspelseffekt på 0,55 mm. I försök 2 upptäcktes ingen samspelseffekt. Anledningen till att det inte befanns någon samspelseffekt i försök 2 är att polymeren som användes i det försöket fick vänta lite mer än en månad i lager innan det användes för pressning av packningar. Det nämndes tidigare i rapporten att ju längre materialet får vänta i lager desto mer minskar polymerens rh-värde, se sida 11 och figur 3. Minskningen resulterar i en längre tidsperiod för polymeren att befinna sig i evaporeringszonen och leder till mer avdunstning av material som gör att mer krypning i packningen erhålls. Man kan se i samspelsdiagrammet (figur 14) från försök 1 att när rh-värdet är högt och vulkaniseringstiden är lång får man betydligt längre packningar jämfört med då rh-värdet är lågt och vulkaniseringstiden är lång, detta indikerar på ett visst samband mellan vulkaniseringstid och rh-värde. Däremot i försök 2 hittades ingen samspelseffekt överhuvudtaget, detta för att det höga rh-värdet i försöket hade sjunkit till samma nivå som det låga rh-värdet vilket resulterade i nästan ingen skillnad mellan rh-värdena i försök 2. Detta påverkade samspelseffekten till att bli noll.

7.2 Förslag på fortsatt arbete

Eftersom samspelseffekten inte kunde verifieras i båda försöken kan det vara bra att göra ett nytt försök för att ta reda på effektens existens. Momenten i försöken bör planeras in mer noggrant där lagringstiden för gummimassan bör vara lika långa i båda försöken så att det icke påverkar samspelseffektens signifikans.

8 Litteraturlista

Böcker

1: Pauli, Marie. (2001). *Statistisk försöksplanering, Faktorförsök*. Katrineholm: Holmbergs Tryckeri AB, ISBN: 91-7548-629-6

2: Olsson, Ulf och Engstrand, Ulla. (2003). *Variansanalys och försöksplanering*. Lund: Studentlitteratur, ISBN: 91-44-03025-8: 455:00

3: Bergman, Bo. (2008). *Industriell försöksplanering och robust konstruktion*. Malmö: holmbergs AB.

4: Andersson, Bengt & Atkins, Ian & Brorson, Torbjörn & Fransson, Sven-Olof & Gustavsson, Alf & Levin, Nils & Lindström, Peter & Martinsson, Per-Olof & Nilsson, Halvard & Persson, Sture & Spetz, Göran. (2002). *GUMMI! Ett utbildningsmaterial för gummiindustrin* (reviderad upplaga 1:2). Tranemo: Tranemo TypoTryck AB

5: C. Painter, Paul & M. Coleman, Michael. (1997). *Fundamentals of polymer science, an introductory text* (second edition). Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, ISBN: 1-56676-559-5

7: Sperling, L.H. (2006). *INTRODUCTION TO PHYSICAL POLYMER SCIENCE* (forth edition), Hoboken New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, ISBN: 0-471-70606-X

8: Rudin, Alfred. (1999). *The elements of Polymer Science and Engineering* (second edition) San Diego: ACADEMIC PRESS, ISBN: 0-12-601685-2

9: Sörelius, S. E. (1973). *TEKNO´S PLASTTEKNIK*. Arlöv: AB Perfekta-Tryck, ISBN: 91-7172-172-X

www

6: Wikipedia. (senast uppdaterad 16 februari 2011 kl. 06.54). Tillgänglig: <<http://sv.wikipedia.org/wiki/Elastomer>>

9 Bilaga 1

9.1 Huvudeffekter, faktor försök 1

<ul style="list-style-type: none">• Medelvärdet då faktor rh är på <u>hög nivå</u>: $(1309,825 + 1311,42) / 2 = 1310,623 \text{ mm}$	<ul style="list-style-type: none">• Medelvärdet då faktor rh är på <u>låg nivå</u>: $(1309,8 + 1310,28) / 2 = 1310,04 \text{ mm}$
---	--

Huvudeffekten av rh-värdet är differensen mellan medelvärdet i den höga nivån och medelvärdet i den låga nivån:

$$I_{rh} = 1310,623 \text{ mm} - 1310,04 \text{ mm},$$

$$I_{rh} = \mathbf{0,583 \text{ mm}}$$

Samma beräkningar verkställs för att få ut **huvudeffekten av vk-tid**:

<ul style="list-style-type: none">• Medelvärdet då faktor vk-tid är på <u>hög nivå</u>: $(1310,28 + 1311,42) / 2 = 1310,85 \text{ mm}$	<ul style="list-style-type: none">• Medelvärdet då faktor vk-tid är på <u>låg nivå</u>: $(1309,8 + 1309,825) / 2 = 1309,8125 \text{ mm}$
---	---

Huvudeffekten av ”vk-tid” på packningslängden:

$$I_{vk} = 1310,85 \text{ mm} - 1309,8125 \text{ mm},$$

$$I_{vk} = \mathbf{1,038 \text{ mm}}$$

. Symbolen för effekten av samspelet är $I_{rh,vk}$.

För att det ska kunna vara möjligt att undersöka om det förekommer ett samspel mellan rh-värdet och vk-tiden tittar vi på effekten av ökad rh-värde då vk-tiden befinner sig på hög nivå:

$$1311,42 \text{ mm} - 1310,28 \text{ mm} = \mathbf{1,14 \text{ mm}}$$

Sedan tittar vi på effekten av ökad rh-värde då vk-tiden befinner sig på låg nivå:

$$1309,825 \text{ mm} - 1309,8 \text{ mm} = \mathbf{0,025 \text{ mm}}$$

Samspelseffekten tas fram genom räkna halva differensen mellan de ovanstående effekterna

Värdet på samspelseffekt:

$$I_{rh,vk} = (1,14 \text{ mm} - 0,025 \text{ mm}) / 2$$

$$I_{rh,vk} = \mathbf{0,5575 \text{ mm}}$$

Sammanfattning av effekterna faktor försök 1

Effekten av rh-värdet: $I_{rh} = \mathbf{0,583 \text{ mm}}$

Effekten av vulkaniseringstiden: $I_{vk} = \mathbf{1,038 \text{ mm}}$

Effekten av samspelet mellan rh-värdet och vulkaniseringstiden: $I_{rh,vk} = \mathbf{0,5575 \text{ mm}}$

10 Bilaga 2

10.1 Beräkning av Referensintervall för test 1

En sammanfattning av hur ett referensintervall bildas:

1. En tallinje ritas och alla förvärvade huvudeffekter markeras på linjen
2. Ta fram försöksfelet s_p . Sedan räkna fram effekternas medelfel s_{effekt} genom att sätta in s_p i medelfel formeln.
3. Räkna fram de ”kritiska gränserna” på tal planet via multiplicering av medelfelet s_{effekt} med ett tal i tabellen av t-fördelning. (tabellen finns i bilagor)
4. Sätt de kritiska gränserna på tallinjen
5. Gör analysen av försöket via observering av de effekter som passerar en av gränserna som signifikant. [1]

Försöksfelet ” s_p ”:

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2 + \dots + (n_k - 1)s_k^2}{(n_1 + n_2 + \dots + n_k) - k}$$

n_1, n_2 osv betecknar olika stickprovsstorlekar, nivå kombinationer (prov)

s_1^2, s_2^2 osv är stickprovens, nivå kombinationers, varians

k = antal stickprov

Den sammanvägda stickprov variansen för **faktor försök 1** blir:

$$S_p^2 = 1,5141 \text{ mm}$$

Efter att man har fått tag på S_p^2 blir det möjligt att få fram försöksfelet genom att ta kvadrat roten ur S_p^2 . Försöksfelet blir:

$$S_p = 1,2305 \text{ mm}$$

Medelfelet "S_{effekt}"

Nästa etapp i analysen är att med hjälp av försöksfelet räkna ut effekternas gemensamma **medelfel**. Medelfelet representerar standardavvikelsen för en effekt. Just i det här försöket då faktorernas antal inte överskrider två stycken, beräknas medelfelet av formeln:

MEDELFELET FÖR EN EFFEKT

$$S_{\text{effekt}} = \frac{2S_p}{\sqrt{N}}$$

N = totala antalet prov

$$S_{\text{effekt}} = \frac{2(1,2305)}{\sqrt{470}} = 0,113517 \text{ mm}$$

$$S_{\text{effekt}} = 0,113517 \text{ mm}$$

Signifikansnivå

Signifikansnivå symboliseras med α , utläses alfa. I det här försöket valdes en signifikansnivå på **5 %**.

De kritiska gränserna

Formeln för de kritiska gränserna använder medelfelet av en effekt och ett t-värde som kan läsas av i en t-tabell. För att kunna välja rätt t-värde för formeln måste frihetsgraden beräknas. Frihetsgradens beteckning är "v".

Formeln för frihetsgraden:

$$v = (n_1 + n_2 + \dots + n_k) - k$$

n_1, n_2 osv betecknar olika stickprovsstorlekar, nivå kombinationer(prov)

k = antal stickprov

Frihetsgraden:

$$v = (120 + 120 + 118 + 112) - 4$$

$$v = 466$$

Formeln för de kritiska gränserna:

$$K_1 = -t_{v,\alpha} \cdot S_{\text{effekt}}$$

$$K_2 = + t_{v,\alpha} \cdot S_{\text{effekt}}$$

De kritiska gränserna för faktorförsök 1,

$$K_1 = - 0,22 \text{ mm}$$

$$K_2 = 0,22 \text{ mm}$$

När de kritiska gränserna är bestämda markeras dem på tallinjen där alla effekterna är utsatta. De effekter som hamnar utanför är signifikanta i påverkandet av slutresultaten.